

UNIVERZITA KARLOVA
Přírodovědecká fakulta
Ústav pro životní prostředí

Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí

Studijní obor: Ochrana životního prostředí



Bc. Barbora Basslerová

**VELIKOSTNĚ ROZLIŠENÝ ATMOSFÉRICKÝ AEROSOL
V PRACOVNÍM PROSTŘEDÍ POVRCHOVÉHO
HNĚDOUHELNÉHO DOLU**

**SIZE SEGREGATED ATMOSPHERIC AEROSOL IN SELECTED
WORKSPACES OF COAL STRIP MINE**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Jan Hovorka, Ph.D.

Praha 2017

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 11. 5. 2017

.....

podpis

Poděkování:

Mé poděkování patří panu RNDr. Janu Hovorkovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, cenné rady a odborné konzultace. Ráda bych také poděkovala Ing. Jiřímu Kučerovi z Dolů Nástup Tušimice, který mi umožnil terénní měření v lomu Libouš. Rovněž bych chtěla poděkovat své rodině za její stálou podporu během mého studia.

Abstrakt

V hnědouhelných povrchových lomech jsou pracovníci exponováni aerosolovými částicemi, které vznikají především v důsledku rozrušení těžných hornin kolesovými rýpadly.

Cílem práce bylo porovnat koncentrace částic atmosférického aerosolu – PM, kterým jsou exponováni pracovníci na kolesovém rýpadle Schrs 1320 a zakládacím voze ZPDH 6300 na skrývce a kolesovém rýpadle K 800/N2 v uhelném lomu Doly Nástup Tušimice a odpovědět na otázky, co je hlavní příčinou zvýšené koncentrace PM_x a zda se těžební stroje mezi sebou liší. Měření probíhalo postupně na každém těžebním stroji v období od 12. 8. do 2. 9. 2016. Koncentrace PM₁, PM_{2,5} a PM₁₀ s integrační dobou jedné minuty byly měřeny dvojicí přenosných laserových nefelometrů v kabině řidiče a na venkovním ochozu. V obou prostředích byla v pětiminutových intervalech monitorována i teplota vzduchu a relativní vlhkost vzduchu.

Variabilita koncentrací PM_x je zejména dána typem pracovní činnosti a kouřením. Proto byly koncentrace PM na těžebních strojích porovnávány při střídání směn ráno a večer, úklidu ve venkovním prostředí ručním zametáním, úklidu v kabině řidiče vysáváním a při kouření. Nejvyšší koncentrace PM₁₀ ($6,1 \pm 11,3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$) byly změřeny při úklidu ručním zametáním na kolesovém rýpadle K 800/N2, na Schrs 1320 a ZPDH 6300 se hodnoty během této činnosti shodovaly ($1,5 \pm 1,7 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$). Při úklidu v kabině řidiče se koncentrace PM₁₀ lišily mezi stroji a klesaly v pořadí ZPDH 6300 ($3,1 \pm 3,6 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$), Schrs 1320 ($1,8 \pm 1,6 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$) a K 800/N2 ($1,0 \pm 0,9 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$). Při střídání směn ráno se koncentrace PM₁₀ lišily a klesaly v pořadí K 800/N2 ($0,66 \pm 0,24 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$), ZPDH 6300 ($0,24 \pm 0,12 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$) a Schrs 1320 ($0,07 \pm 0,04 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$) stejně tak se lišily koncentrace PM₁₀ při střídání směn večer a klesaly v pořadí K 800/N2 ($0,96 \pm 1,23 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$), Schrs 1320 ($0,54 \pm 1,43 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$) a ZPDH 6300 ($0,54 \pm 1,43 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$). Koncentrace PM_{2,5} se chovaly stejně jako koncentrace PM₁₀. Variabilita PM₁ byla dána zejména kouřením. Nejvyšší koncentrace PM₁ byly dosaženy při kouření v kabině řidiče Schrs 1320 ($1,8 \pm 2,2 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$), přičemž koncentrace PM₁ jsou shodné na ZPDH 6300 a K 800/N2 ($0,9 \pm 1,1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$). Expozice pracovníků PM₁ způsobená kouřením po dobu osmi hodin je průměrně 1,4 mg/12 hod, což z celkové expozice představuje 87 %. Expozice pracovníků PM₁₀ při úklidu v kabině řidiče po dobu 15 min dosahuje průměrné hodnoty 0,09 mg/12 hod, což tvoří 4,9 % z celkové expozice.

Hodnoty PM₁₀ dle PCIS, byly třikrát až čtyřnásobek nižší než PM₁₀ dle standardní metody popsané v Nařízení vlády 361/2007 Sb. Vzhledem ke shodě PCIS a laserového nefelometru pro koncentrace v hrubé frakci můžeme standardní metodu považovat za nesprávnou z důvodu nežádoucí manipulace pracovníků s odběrovou hlavicí IOM.

Klíčová slova

rýpadlo, prach, těžba uhlí, vnitřní prostředí, hrubý aerosol, jemný aerosol, pracovní směna

Abstract

The workers are exposed to aerosol particles in a coal strip mine. These particles are usually generated by the Bucket-wheel excavators which break the mined rock.

The goal of the thesis was to compare the concentrations of atmospheric aerosol particles – PM on the Bucket-wheel excavator Schrs 1320, the Stacker ZPDH 6300 and the Bucket-wheel excavator K 800/N2 in the coal quarry Doly Nástup Tušimice, and then to answer the questions what is the main cause of increased concentration PM_x and whether the mining machines are different from each other. The measurement was realized stepwise on every mining machine in the time period from 12. 8. to 2. 9. 2016. The concentrations of PM_1 , $PM_{2,5}$ and PM_{10} were measured by two portable laser nephelometers in the cab drivers and the outdoor walkway of the mining machines with the integration time of 1 minute. The air temperature and the relative humidity were monitored in both types of settings in every five minutes.

The PM_x concentrations variability is usually determined by the type of work and by the type of smoking. Consequently, PM concentrations on the mining machines were compared at the morning exchanges and evening exchanges, during the outdoor cleaning by sweeping, the indoor cleaning by hoovering and during the smoking. The highest concentration PM_{10} ($6,1 \pm 11,3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$) was gauged during the cleaning by sweeping on the Bucket-wheel excavator K 800/N2. The concentrations during sweeping were identical on Schrs 1320 and ZDH 6300 ($1,5 \pm 1,7 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$). The concentrations PM_{10} were different during indoor hoovering. Values decreased in this sequence ZPDH 6300 ($3,1 \pm 3,6 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$), Schrs 1320 ($1,8 \pm 1,6 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$) and K 800/N2 ($1,0 \pm 0,9 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$). The concentrations PM_{10} were different during morning exchanges. Values decreased in this sequence K 800/N2 ($0,66 \pm 0,24 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$), ZPDH 6300 ($0,24 \pm 0,12 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$) and Schrs 1320 ($0,07 \pm 0,04 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$). The concentrations PM_{10} were also different during evening exchanges. Values decreased in sequence K 800/N2 ($0,96 \pm 1,23 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$), Schrs 1320 ($0,54 \pm 1,43 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$) a ZPDH 6300 ($0,54 \pm 1,43 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$). The $PM_{2,5}$ concentrations were the same as the concentrations PM_{10} . The concentrations PM_1 variability was determined by the smoking. The highest concentration PM_1 was in the cab drivers of Schrs 1320 during smoking ($1,8 \pm 2,2 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$). The concentrations PM_1 were identical in the cab drivers of ZPDH 6300 and K 800/N2 ($0,9 \pm 1,1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$). The exposure of the workers PM_1 caused by smoking for eight hours is on average $1,4 \text{ mg}/12 \text{ h}$, which represents 87% of the total exposure. The exposure of the workers PM_{10} caused by hoovering in the cab drivers for 15 minutes reaches an average value of $0,09 \text{ mg}/12 \text{ h}$, which is 4,9% of the total exposure.

The values of PM_{10} measured by PCIS certificated by US EPA was three times up to twenty-four times higher than the values PM_{10} measured by the standard method according to Government Decision 361/2007. The PCIS and the laser nephelometer were the same therefore; the standard method isn't correct because it can come to pass undesirable handling of IOM.

Keywords

excavator, dust, coal mining, indoor air, coarse and fine aerosol, work shift

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Cíle práce	12
3	Atmosférický aerosol	13
3.1	Vznik atmosférického aerosolu	13
3.2	Velikostní distribuce atmosférického aerosolu.....	14
4	Hrubý aerosol z povrchového dobývání.....	15
4.1	Riziko vzniku hrubých částic v průběhu těžby.....	15
5	Personální expozice, zdravotní účinky, hygienické limity	18
5.1	Definice personální expozice a její stanovení	18
5.2	Zdravotní účinky částic PM _x na lidské zdraví	18
5.3	Možná opatření vedoucí k ochraně pracovníků.....	19
5.4	Hygienické limity pro pracovní prostředí.....	20
6	Měření koncentrace prachu v pracovním prostředí	21
6.1	Gravimetrické stanovení celkové prašnosti	22
6.1.1	Princip gravimetrického stanovení celkového prachu	22
6.1.2	Vzorkování, konzervace, přeprava vzorků.....	22
6.2	Personální kaskádní impaktor.....	23
6.2.1	Princip kaskádního personálního impaktoru Sioutas	23
6.2.2	Vzorkování, konzervace, přeprava vzorků.....	23
7	Severočeské Doly, a. s.....	24
7.1	Technologické vybavení Dolů Nástup Tušimic	24
8	Experimentální část	27
8.1	Přístrojové vybavení	27
8.1.1	DustTrak DRX	27
8.1.2	Teploměr-vlhkoměr AirFlow	27
8.1.3	Standardní gravimetrie a gravimetrie dle US EPA	27
8.2	Přípravné práce v laboratoři	28
8.3	Terénní výzkum.....	28
8.3.1	Umístění přístrojů.....	29
8.3.2	Popis pracovišť.....	30
9	Výsledky	31
9.1	Kolokační měření	31
9.2	Měření na pracovištích Schrs 1320, ZPDH 6300, K 800/N2	32

9.2.1	Výsledky z DustTraků DRX	32
9.2.1.1	Porovnání pracovišť Schrs 1320, ZPDH 6300 a K 800/N2.....	38
9.2.1.2	Specifika kouření v kabině řidiče	43
9.2.1.3	Porovnání epizodických jevů na jednotlivých pracovištích.....	44
9.2.2	Průběh mikroklimatických podmínek a jejich srovnání.....	47
9.2.3	Výsledky ze standardní gravimetrie a PCIS dle US EPA	50
10	Diskuze	52
11	Závěr.....	57
	Literatura.....	59

Seznam zkratek

DNT – Doly Nástup Tušimice
DPD – Dálková pásová doprava
DT – DustTrak
PCIS – Personal Cascade Impactor Sampler
PM – Particulate Matter

Seznam obrázků

- Obr. 1** Velikostní distribuce částic s přítomností strojů s dieselovými motory a bez přítomnosti strojů s dieselovými motory
- Obr. 2** Odběrová hlavice IOM a impaktor Sioutas
- Obr. 3** Provozní plochy Dolů Nástup Tušimic, budoucí postup lomu a již rekultivované plochy
- Obr. 4** Umístění DT č. 1, odběrové hlavice IOM a PCIS v kabině řidiče. Umístění DT č. 2 ve venkovním prostředí na mezipase C2.
- Obr. 5** Lineární regrese DustTraků pro jednotlivé frakce
- Obr. 6** Týdenní průběh koncentrace PM_{10} na těžebních strojích od 12. 8. do 2. 9. 2016
- Obr. 7** Týdenní průběh koncentrace $PM_{2,5}$ na těžebních strojích od 12. 8. do 2. 9. 2016
- Obr. 8** Týdenní průběh koncentrace PM_1 na těžebních strojích od 12. 8. do 2. 9. 2016
- Obr. 9** Týdenní průběh koncentrace hrubé frakce na těžebních strojích od 12. 8. do 2. 9. 2016
- Obr. 10** Poměr hrubé frakce mezi vnitřním a venkovním prostředím od 12. 8. do 2. 9. 2016
- Obr. 11** Poměr jemné frakce mezi vnitřním a venkovním prostředím od 12. 8. do 2. 9. 2016
- Obr. 12** 95% konfidenční intervaly PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) během tří týdnů měření na stanici ČHMÚ v Chomutově
- Obr. 13** 95% konfidenční intervaly (mg/m^3) pro epizody střídání směn ráno, střídání směn večer, úklid ve venkovním prostředí, úklid v kabině řidiče, zapálení cigarety v kabině řidiče
- Obr. 14** 95% konfidenční intervaly PM_1 (mg/m^3) pro kuřácké a nekuřácké události
- Obr. 15** Srovnání 95% konfidenčních intervalů (mg/m^3) všech epizodických jevů zjištěných na pracovištích Schrs 1320, ZPDH 6300, K 800/N2
- Obr. 16** Průměrné procentuální příspěvky PM_{10} pracovních činností a PM_1 kouřením na Schrs 1320 z hlediska dvanáctihodinové pracovní doby
- Obr. 17** Průměrné procentuální příspěvky PM_{10} pracovních činností a PM_1 kouřením na ZPDH 6300 z hlediska dvanáctihodinové pracovní doby
- Obr. 18** Průměrné procentuální příspěvky PM_{10} pracovních činností a PM_1 kouřením na K 800/N2 z hlediska dvanáctihodinové pracovní doby

Obr. 19 Týdenní průběh teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu na Schrs 1320, ZPDH 6300, K 800/N2 ve vnitřním i venkovním prostředí

Obr. 20 Box-plot týdenních venkovních teplot vzduchu na jednotlivých těžebních strojích

Obr. 21 Koncentrace PM_{10} ($mg \cdot m^{-3}$) v kabině řidiče ze dne 21. 8. 2016 na ZPDH 6300

Obr. 22 Koncentrace PM_1 v kabině řidiče během pondělních denních směn na pracovištích ZPDH 6300 a K 800/N2 znázorňující přítomnost kuřáků.

Obr. 23 Porovnání 95% konfidenčních intervalů hrubé frakce (mg/m^3) z DustTrak DRX a PCIS ze dne 12. 8. na Schrs 1320, 19. 8. na ZPDH 6300 a 26. 8. na K 800/N2

Seznam tabulek

Tab. 1 Procentuální zastoupení hrubé a jemné frakce ve venkovním a vnitřním prostředí

Tab. 2 Statistický test ANOVA prokazující rozdíl venkovních koncentrací PM_{10} mezi těžebními stroji během ranního střídání směn

Tab. 3 Games-Howell test pro vícenásobné porovnání venkovní koncentrace PM_{10} jednotlivých těžebních strojů během ranního střídání směn

Tab. 4 Statistický test ANOVA prokazující rozdíl venkovních koncentrací PM_{10} mezi jednotlivými těžebními stroji během večerního střídání směn

Tab. 5 Games-Howell test pro vícenásobné porovnání venkovní koncentrace PM_{10} jednotlivých těžebních strojů během večerního střídání směn

Tab. 6 Statistický test ANOVA testující průměrné venkovní koncentrací PM_{10} mezi jednotlivými těžebními stroji při úklidu (ručním zametání)

Tab. 7 Games-Howell test pro vícenásobné porovnání venkovní koncentrace PM_{10} jednotlivých těžebních strojů při úklidu (ručním zametání)

Tab. 8 Statistický test ANOVA prokazující rozdíl koncentrací PM_{10} mezi jednotlivými těžebními stroji při úklidu (vysávání) v kabině řidiče

Tab. 9 Games-Howell test pro vícenásobné porovnání koncentrací PM_{10} jednotlivých těžebních strojů při úklidu (vysávání) v kabině řidiče

Tab. 10 Statistický test ANOVA testující průměrné koncentrace PM_1 mezi jednotlivými těžebními stroji při zapálení cigarety v kabině řidiče

Tab. 11 Games-Howell test pro vícenásobné porovnání koncentrace PM_1 jednotlivých těžebních strojů při zapálení cigarety v kabině řidiče

Tab. 12 Statistický test ANOVA testující průměrné venkovní teploty během tří týdnů měření na jednotlivých těžebních strojích

Tab. 13 Vícenásobné porovnání pomocí Games-Howellova testu srovnávající venkovní teplotu vzduchu mezi všemi těžebními stroji

- Tab. 14** Pearsonův korelační koeficient vyšetřující těsnost lineárního vztahu koncentrace PM_{10} , teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu ve venkovním prostředí na Schrs 1320
- Tab. 15** Pearsonův korelační koeficient vyšetřující těsnost lineárního vztahu koncentrace PM_{10} , teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu ve venkovním prostředí na ZPDH 6300
- Tab. 16** Pearsonův korelační koeficient vyšetřující těsnost lineárního vztahu koncentrace PM_{10} , teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu ve venkovním prostředí na K 800/N2
- Tab. 17** Koncentrace jednotlivých frakcí (mg/m^3) zjištěná pomocí PCIS na třech těžebních strojích. Rozšířená kombinovaná nejistota měření je 5,7 %
- Tab. 18** Celková koncentrace částic (mg/m^3) zjištěná standardní gravimetrickou metodou na třech těžebních strojích. Rozšířená kombinovaná nejistota měření je 11 %
- Tab. 19** Games-Howellův test pro porovnání páteční denní směny s ostatními denními směny na Schrs 1320 v časovém rozmezí od 8:00 do 16:00
- Tab. 20** Games-Howellův test pro porovnání páteční denní směny s ostatními denními směny na ZPHD 6300 v časovém rozmezí od 9:20 do 16:15
- Tab. 21** Games-Howellův test pro porovnání páteční denní směny s ostatními denními směny na K 800/N2 v časovém rozmezí od 10:00 do 16:15
- Tab. 22** Dvouvýběrový t-test pro porovnání koncentrace PM_1 během kouření na kolesovém rýpadle K 800/N2 během měření v roce 2015 a 2016

1 Úvod

Povrchové lomy zaujímají rozsáhlé plochy a jsou tak významnými činiteli ovlivňujícími kvalitu ovzduší. Jsou zdrojem zejména hrubých aerosolových částic o aerodynamickém průměru větším než 1 μm . Ten vzniká především v důsledku rozrušení těžných hornin kolesovými rýpadly a současně činností dalších těžebních technologií (zakládacími vozy, pásovou dopravou, úpravou těžných nerostných surovin). Pracovníci obsluhující těžební stroje jsou vystaveni znečištěnému ovzduší, což má vliv na jejich zdraví. Účinky jsou spojené zejména s omezením cest dýchacích, zvýšením kardiovaskulárních chorob, pneumokoniózou, rakovinou a neurotoxickými účinky (Patra *et al.*, 2016). Proto je důležité věnovat této problematice dostatečnou pozornost.

Současná legislativa v České republice nařizuje pro hnědouhelný lom periodické měření pouze celkové koncentrace poléťavého prachu, ovšem tato metoda neumožňuje měřit v reálném čase, a proto není schopna odhalit a zaznamenat činnosti významné z hlediska expozice pracovníků. Zároveň gravimetrické stanovení, které je založeno na osobním odběru, kdy měřený pracovník má na sobě připevněné odběrové čerpadlo, může být často příčinou neobjektivního výsledku.

V dosavadních studiích (Chakraborty *et al.*, 2002, Ghose, 2007, Onder a Yigit, 2009) jsou prezentovány výsledky týkající se koncentrací částic emitovaných těžebními stroji jako celku, nezabývají se však konkrétními událostmi a příčinami jejich okamžitého nárůstu. Tato diplomová práce poskytuje detailní analýzy koncentrací částic PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ a PM_{10} v rámci konkrétních prováděných činností pracovníky s ohledem na jejich délku trvání, intenzitu a četnost těchto činností v rámci pracovní směny.

Výsledky mé bakalářské práce (Basslerová, 2015) daly podnět pro pokračování ve studiu pracovního prostředí, přičemž předmětem sledování jsou nově i další těžební stroje.

Práce je členěna do devíti vzájemně propojených kapitol. První tři kapitoly jsou věnovány definici atmosférických aerosolů, jejich vzniku v důsledku povrchového dobývání, účinkům na lidský organismus a možnostem jejich snižování na pracovišti. V navazující kapitole jsou popsány metody měření koncentrace prachu na pracovišti. V pořadí sedmá kapitola představuje společnost Severočeské doly a. s. včetně jejich technologického vybavení lomu. Experimentální část práce obsahuje informace o použitých přístrojích a přípravách v laboratoři. Na tuto kapitolu navazují již konkrétní výsledky práce, rozdělené na výsledky z DustTraku DRX a z gravimetrického měření. Výstupy jsou v další kapitole diskutovány a v závěru práce shrnuty.

2 Cíle práce

Hlavním cílem předkládané diplomové práce je nalézt a vysvětlit rozdíl koncentrací částic PM_x mezi kolesovým rýpadlem Schrs 1320 a základacím vozem ZDPH 6300 na skrývce a kolesovým rýpadlem K 800/N2 na uhelném lomu. Má větší vliv druh těženého materiálu nebo rozhoduje o koncentraci typ těžebního stroje? Očekává se rozdíl v expozici pracovníků na skrývce a pracovníků obsluhujících těžební stroj v uhelném lomu.

Dalším cílem je odhalit konkrétní epizodické jevy, vysvětlit jejich příčiny a kvantifikovat jejich příspěvky v rámci jednotlivých pracovních směn.

Speciální pozornost je i vzhledem k výše zmíněným výsledkům vlastní bakalářské práce (Basslerová, 2015) věnována přítomnosti kuřáků v kabině řidičů těžebních strojů. Třetím cílem je ověřit předpoklad, že kouření je hlavním zdrojem částic PM_1 ve vnitřním prostředí a zjistit, jaký má cigaretový kouř vliv na expozici řidičů rýpadel.

Jelikož standardní gravimetrická metoda dle Nařízení vlády 361/2007 Sb. nerozlišuje velikost částic, je čtvrtým a posledním cílem práce zhodnotit vhodnost této metody pro měření expozice pracovníků, především v souladu se skutečností, že není možné rozlišit částice pocházející z pracovní činnosti od částic zapříčiněných např. výše zmíněným kouřením. Tato standardní metoda je tedy porovnávána s metodou certifikovanou US EPA, která pro měření využívá PCIS (Personal Cascade Impactor Sampler).

3 Atmosférický aerosol

Atmosférický aerosol je souborem pevných a kapalných částic o velikostech od 1 nm do 100 μm obklopených plynem. Jednotlivé aerosolové částice nejsou pouhým okem viditelné, mohou se však shlukovat a vytvářet pozorovatelné ohraničené makro-objekty jako jsou prach, dým, kouř, mlha, opar, oblaka či smog (Hovorka *et al.*, 2009). Vznik těchto fenoménů závisí na velikosti částic a jejich koncentraci v ovzduší, přičemž oba faktory jsou rozhodující pro dobu setrvání jevů v atmosféře (Hinds, 1999). Aerosolové částice jsou důležité pro základní děje v atmosféře, ale současně za určitých podmínek mohou negativně působit na ekosystémy a lidské zdraví.

3.1 Vznik atmosférického aerosolu

Atmosférický aerosol vzniká fázovou přeměnou z plynných prekurzorů nebo rozpadem kapalin či pevných látek na menší složky (Hinds, 1999).

Podle vzniku rozeznáváme aerosoly primární a sekundární. Primární částice jsou ze zdroje do atmosféry emitovány přímo prostřednictvím přírodních i antropogenních procesů. Antropogenní zdroje zahrnují výrobu energie, hutnictví, těžbu surovin, výrobu stavebních materiálů a jiné. Z přírodních zdrojů se generují částice zejména ve formě mořského aerosolu, sopečného prachu, bioaerosolu a také kosmického spadu. Sekundární částice vznikají v atmosféře transformací primárních částic v důsledku chemických a fotochemických reakcí, což může vést ke změně fyzikálních a chemických vlastností částic, a tím i k ovlivnění konečného procesu šíření a depozice (Hrdličková *et al.*, 2008). Současně mezi sekundární aerosol řadíme i částice dostávající se do ovzduší resuspenzí, tedy zvířením v důsledku lidské činnosti. Specifickým zdrojem prachu je doprava, při níž se generují jednak nové částice, ale současně vyvolává resuspenzi už sedimentovaného aerosolu.

Šíření emisí do okolí je dáno čtyřmi hlavními faktory, kterými jsou charakteristika zdroje (kapacita, výška nad zemí, variabilita v čase), vlastnosti emisí, účinky zemského povrchu a meteorologické faktory (rychlost a směr proudění vzduchu, teplotní stratifikace v blízkosti zemského povrchu, atmosférické srážky, teplota, tlak vzduchu, sluneční svit a vlhkost vzduchu) (Hrdličková *et al.*, 2008).

Chování částic v plynu nejzásadnějším způsobem ovlivňuje jejich velikost. Částice o různých rozměrech se chovají odlišně, a mohou tudíž být řízené různými fyzikálními zákony (Baron *et al.*, 2011). Čím jsou částice menší, tím spíše jsou ovlivňované chaotickým pohybem molekul tzv. Brownovým pohybem. Oproti tomu pohyb velkých částic, viditelných pouhým okem, je determinován zejména procesy gravitace a sedimentace (Hovorka *et al.*, 2009).

3.2 Velikostní distribuce atmosférického aerosolu

Pro hodnocení atmosférických aerosolů z hlediska zdravotního účinku na člověka byly definovány velikostní skupiny označované PM_x (Particulate Matter), kde x je aerodynamický průměr o hodnotě 10, 5, 2,5 nebo 1 μm , a které separační zařízení oddělí s 50% účinností. Velikost částic monodisperzního aerosolu je definovaná jediným parametrem – průměrem částic. Průměr částic není dán geometrickou velikostí, nýbrž je určován chováním částic ve vzduchu tzv. aerodynamickým průměrem. Aerodynamický průměr je průměr kulovité částice o hustotě 1000 kg/m^3 , se stejnou rychlostí sedimentace jako má příslušná částice. Většina aerosolů je však polydisperzní a velikost částic se může pohybovat v rozsahu dvou či více řádů (Hinds, 1999). Velikost částic je důležitá zejména s ohledem na lidské zdraví, protože určuje pravděpodobnost vstupu aerosolových částic do lidského organismu. Za tímto účelem byla vytvořena trimodální distribuce vycházející právě z velikosti částic a hmotnostní koncentrace (Whitby, 1978). Tvoří ji dva mody jemných částic, tzv. nukleační a akumulární, které jsou pouze přechodnými částicemi vznikajícími kondenzací a koagulací, a mod hrubých částic (obvykle primárně emitovaných částic) mezi nimiž je hraniční rozměr 1 μm (Hovorka *et al.*, 2009).

Částice nukleačního modu (ultrajemné částice) se velikostně pohybují v rozmezí 0,005 až 0,1 μm (nejčastěji do 30 nm). V atmosféře vznikají fotochemickými reakcemi plynů a vysokoteplotními procesy. Doba setrvání těchto částic je krátká (vteřiny až desítky minut), vzhledem k rychlé koagulaci s většími částicemi, případně mohou být zdrojem kondenzačních jader důležitých pro vznik mraků a mlhy (Whitby, 1978).

Částice akumulárního modu mohou mít velikost od 0,1 do 2 μm a mají nejčetnější zastoupení v troposféře. Vznikají koagulací menších částic, kondenzací plynu, vody a chemickými reakcemi. V atmosféře setrvávají mnohem déle než částice nukleačního modu (dny až týdny), jelikož na ně nepůsobí molekuly vzduchu a pomalu sedimentují (Hovorka *et al.*, 2009).

Částice větší než 1 μm řadíme do modu hrubých částic. Vznikají účinky mechanických sil na pevnou hmotu a jsou tvořeny minerálními částicemi, respektive prachem vytvářeným větrem nebo lidskou aktivitou, potom také biologickými částicemi a částicemi mořské soli. Jejich doba setrvání v atmosféře závisí na sedimentačních a turbulentních procesech v mezní vrstvě atmosféry (Hovorka *et al.*, 2009).

4 Hrubý aerosol z povrchového dobývání

Těžba uhlí má obecně nepříznivý dopad na lidské zdraví a okolní prostředí. Ze všech zdrojů znečišťujících ovzduší je tím hlavním zdrojem právě povrchová těžba (Ghose a Majee, 2000). Rozsah a význam znečištění způsobeného těžbou závisí zejména na druhu těžené suroviny, na způsobu hornictví a na jeho intenzitě (Ghose, 2007). Při hlubinném dobývání jsou horníci vystaveni účinkům uhelného prachu, který vdechují uvnitř dolů. Povrchová těžba znečišťuje ovzduší nejen v samotném dobývacím prostoru, ale má dopad i na obyvatele z přilehlých obcí (Ghose a Majee, 2007). Znečištění ovzduší v uhelných lomech způsobují emise částic, které jsou tvořeny uhelným, půdním nebo kamenným prachem. Hlavními minerály obsaženými v uhelném prachu jsou křemen, kaolinit a pyrit (Rout *et al.*, 2014). Prach se vytváří vždy při rozrušování horniny a to nárazem, otěrem, drcením, mletím, řezáním, vrtáním nebo explozí (Onder a Yigit, 2009).

Kumulativní účinek všech činností, při kterých dochází k emisím PM v rámci povrchového dobývání, nám poskytuje informaci o celkovém potenciálu znečištění lomu. Chakraborty (2002) i Ghose (2007) využívají pro zjištění emisního faktoru jednotlivých těžebních aktivit predikční rovnice, které nám poskytují lepší odhad produkce částic v povrchových lomech. Nicméně míra emisí z důlní činnosti se výrazně liší v závislosti na geologickém podloží, přístupu k těžbě a převládajících mikroklimatických podmínkách (Chakraborty *et al.*, 2002). Proto výše zmíněné predikční rovnice, vytvořené měřením v indických povrchových lomech, se značně liší od rovnic odvozených Cowherdem (1982) a USEPA (1995), jejichž empirické rovnice pro stanovení emisí z jednotlivých aktivit jsou vytvořené pro povrchové lomy nacházející se v západní části USA.

V povrchových lomech se využívá různých dobývacích technologií, které jsou všechny spojené se vznikem aerosolových částic. Zdroje znečištění ovzduší v lomu mohou být rozděleny do dvou kategorií, na bodové a tzv. prchající zdroje. Bodovými zdroji jsou typicky komíny emitující spaliny nebo jednotlivé těžební stroje. V porovnání s nimi jsou prchavé zdroje otevřené plošné zdroje a jsou jimi exponované půdy na skrývkách a uhlí v lomech. Nejvýznamnější těžební činnosti z pohledu prašnosti jsou práce spojené s odstraňováním skrývky a její následný převoz a ukládání na výsypkách, těžba, transport a vykládání uhlí, činnosti na uhelných skládkách a dále jsou to mj. práce vrtací a odstřelovací (Ghose, 2007).

4.1 Riziko vzniku hrubých částic v průběhu těžby

V počáteční fázi povrchové těžby dochází k odtěžení nadložní vrstvy, pod níž je uloženo uhlí, kdy ovzduší je znečišťováno právě odstraňováním a transportem svrchního materiálu. Proto je

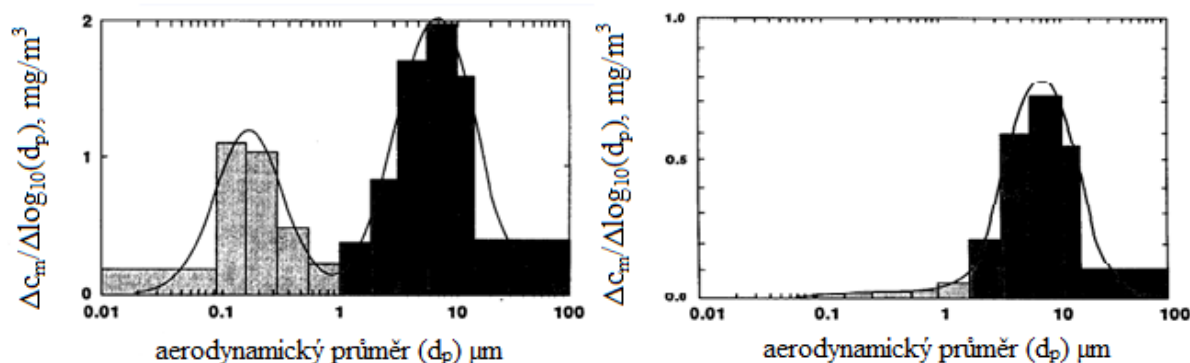
i tato operace prvním zdrojem produkce PM_x . Pro odtěžení a nakládku nadložní zeminy se používají kolesová rýpadla, výjimečně i korečková rýpadla a rýpadla s vlečným korečkem rozmístěná na jednotlivých etážových stupních (Ghose a Majee, 2001). V případě kolesových rýpadel ke generaci částic dochází pohybem samotného kola osazeného korečky se zuby rozrušujícími horninu. Dalším zdrojem hrubých částic při chodu kolesového rýpadla je přesyp vytěženého materiálu na dálkové pásové dopravníky (DPD), k čemuž dochází v centru těžebního stroje v části zvané mezipas. Hornina je DPD přepravena až na výsypku, kde je ukládána základacími vozy. Výška ramene základacího stroje, ze kterého je materiál vykládán, se významně podílí na míře znečištění společně s intenzitou a směrem proudění vzduchu. Maximální výška výložníkového ramena je cca 26 m nad zemí a je daná požadovaným tvarem, výškou a stabilitou úpatního tělesa. Dalšími způsoby rozrušování hornin jsou vrtání a odstřelování, které jsou významnými zdroji PM_x . Při vhodném tvaru, velikosti a disperzi mohou tyto částice zůstat v atmosféře poměrně dlouhou dobu (Gautam *et al.*, 2012). Z turecké studie Ondera a Yigita (2009) vyplývá, že vrtací práce jsou ze všech těžebních aktivit největším zdrojem prachu. Průměrné koncentrace během této činnosti za posledních 11 let překračují hodnotu $3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, což je v porovnání s pracemi zahrnujícími těžbu skryvky či uhlí více než dvojnásobně větší koncentrace částic. Také Ghose a Majee (2000) zkoumali množství uvolněných částic během vrtání a odhadli, že během této činnosti se generuje $20 - 25 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ prachu na skryvkových etážích a $15 - 30 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ prachu na uhelných etážích.

Množství částic generovaných těžbou uhlí se také odvíjí od typu zvolené dobývací technologie. Těžba uhlí se významně neliší od těžby skryvky s ohledem na vzniklé koncentrace PM_x (Onder a Yigit, 2009). I v případě uhelného lomu jsou převážně využívána kolesová rýpadla, z nichž je uhlí vedeno DPD k dalším úpravám. Úprava uhlí zahrnuje oddělení hrubých nečistot na sítích, drcení, třídění druhů a homogenizaci a je také nezanedbatelným zdrojem PM_x . Odehrává se ovšem převážně v uzavřených prostorách (Ghose, 2007).

Součástí DPD, sloužících k transportu vytěžených surovin, jsou i předávací stanice, které přesypávají surovinu na jiný DPD a umožňují tak změnu směru pásového dopravníku. DPD mohou být opatřeny krycími vrstvami, což výrazně snižuje celkovou prašnost v areálu lomu. Kromě DPD zajišťují v lomu převoz materiálu nákladní vozy a kloubové dempřky. Právě při nakládání a transportu se uvolňují částice o různé velikosti a v závislosti na rychlosti proudění vzduchu jsou pak roznášeny. Znečištění je velmi vysoké jak v místě nakládky a vykládky vytěženého materiálu, tak během přepravy v důsledku kontaktu pneumatik zmíněných strojů s povrchem cest (Onder a Yigit, 2009). Koncentrace částic PM_{10} emitovaných dopravou vytěžených surovin nákladními automobily mohou v okolí nepevněných komunikací až trojnásobně překračovat limit stanovený US EPA, který je pro čtyřiadvacetihodinové

koncentrace PM_{10} $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Aneja *et al.*, 2012). Z dopravních cest v uhelném lomu převažují z 81,5 – 87,3 % emise nerespirabilních částic ve velikostním rozsahu mezi 10 – 50 μm . Oproti tomu částice PM_{10} tvoří pouze 12,7 % - 18,4 % hmotnostního podílu PM emitovaných z přepravních silnic (Patara *et al.*, 2016).

Posledním zdrojem znečištění je i nakládka zpracovaného uhlí do vagónů. Tříděné uhlí je DPD přepravováno do zásobníků v prostoru nakládky a dále je dopravováno velkoodběratelům po železnici.



Obr. 1 Velikostní distribuce hmotnosti částic s přítomností strojů s diesellovými motory (vlevo) a bez přítomnosti strojů s diesellovými motory (vpravo) (Hinds, 199).

Zásadní rozdíl ve velikostní distribuci částic způsobuje přítomnost strojů s diesellovými motory, které se mohou podílet buď na samotné těžbě suroviny, ale především na jejím transportu. Jsou jimi nákladní automobily a kloubové dempřy. V takovém případě ze spalovacích motorů unikají jemné částice. Oproti tomu lomy, v nichž jsou těžební stroje (rýpadla a zakládací vozy) poháněny elektrickým proudem, nevznikají žádné jemné částice, ale pouze hrubý aerosol generovaný mechanickým rozrušováním hornin a jejich následným rozměňováním (drcením a mletím) (Hinds, 1999).

V případě Dolů Nástup Tušimic se pro převoz vytěženého uhlí nákladní automobily ani kloubové dempřy nevyužívají, k transportu je určena výhradně dálková pásová doprava, kterou je uhlí dopravováno až do Ústřední drtírny uhlí. Proto nakládání, přeprava a vykládání surovin jinými prostředky než DPD nepatří v uhelném lomu mezi hlavní činnosti spojené s výskytem prachových částic. V DNT jsou kolesová rýpadla, zakládací vozy a DPD napájeny z elektrické sítě. Z tohoto důvodu je zřejmé, že zde nejsou zdroje jemných a ultrajemných částic vzniklých v důsledku spalovacích procesů motorů.

5 Personální expozice, zdravotní účinky, hygienické limity

5.1 Definice personální expozice a její stanovení

Pojem „lidská expozice“ poprvé zavedl Ott (1982), který zdůrazňuje, že člověk je nejdůležitějším receptorem znečišťujících látek v životním prostředí. Současně vypracoval několik formulací tohoto termínu. Expozici definoval jako událost nastávající tehdy, když člověk přijde do styku s polutantem. Tím je myšlen okamžitý kontakt člověka se škodlivinou o určité koncentraci v daném čase. Lze tedy říci, že expozičními determinanty jsou jak úroveň koncentrace, tak i doba, po kterou je jedinec vystaven znečišťující látce (McGrath *et al.*, 2017). Definice Otta se ovšem vztahuje pouze ke kontaktu s polutantem a není v tomto případě nutné brát v potaz inhalaci nebo požívání znečišťujících látek. Srozumitelnějším termínem je průměrná expozice počítaná podílem integrované expozice daného časem a udává se v jednotkách „koncentračních“ (hmotnost částic na objem vzduchu). Průměrná expozice je tedy zprůměrovaná koncentrace znečištění během určité doby. Kromě průměrných koncentrací se běžně používají i statistické parametry – 95% konfidenční interval, medián nebo četnost překročení určité hodnoty (Monn, 2001). Jakmile však polutant překročí fyzickou hranici (kūži) nejedná se o expozici, nýbrž se používá pojem „dávka“ (Ott, 1982), která může být buď vnitřní, nebo biologicky účinná (NRC, 1991).

Měření personální expozice lze provádět buď přímo, nebo nepřímo (Ott, 1982). V přímém měření je expozice jedince stanovena pomocí osobních odběrů. Při nepřímém přístupu se expozice měří stacionárně nebo ji lze určit modely. Kritéria rozhodující o přístupu k měření jsou určena citlivostí, přesností, správností a detekčním limitem.

5.2 Zdravotní účinky částic PM_x na lidské zdraví

Věk a zdravotní stav člověka jsou rozhodujícími faktory, které určují, jaký vliv mají pevné částice na lidské zdraví. Těžební činností se generují částice o různých velikostech a koncentracích. Částice nad 30 μm jsou velmi hrubé a usazují se v těsné blízkosti emisního zdroje. Částice mezi 10 – 30 μm zůstávají suspendovány ve vzduchu pouze na omezenou dobu a pro člověka nepředstavují riziko, jelikož se nedostávají dál než do nosu či úst (Dockery a Pope, 1994). Teprve velikostní frakce PM₁₀, PM_{2,5} a PM₁ jsou zodpovědné za sníženou kvalitu ovzduší a vedou k nepříznivým účinkům na lidské zdraví (Gautam *et al.*, 2012). Částice PM₁₀ bývají označovány jako vdechovatelná nebo thorakální frakce. Vdechovatelná frakce reprezentuje hmotnostní složku polévatého prachu vdechovanou nosem a ústy. Množství vdechovatelné frakce, které může proniknout do organismu, je ovlivněné rychlostí a směrem proudění vzduchu a frekvencí dýchání. Thorakální frakce proniká za hrtan do spodních cest dýchacích

(ČSN EN 481). Většinu uvolněných částic při těžbě tvoří tzv. respirabilní frakce, což jsou částice o průměru 5 μm , které pronikají do dýchacích cest pracovníků a vyvolávají u nich řadu dýchacích chorob (Brouwer *et al.*, 2004). Jemné částice (především částice akumulárního modu) hrají z hlediska účinků na lidské zdraví důležitější roli než částice hrubé a to hned z několika důvodů. Jemné částice účinně pronikají hluboko do plic, mohou snáz pronikat do vnitřního prostředí, setrvávají delší dobu v atmosféře, mohou být transportovány na dlouhé vzdálenosti, mají tendence na sebe vázat vyšší koncentrace více toxických látek včetně kyselin, těžkých kovů a organických sloučenin a mají větší plochu povrchu na jednotku hmoty, čímž mohou sorbovat větší množství škodlivin (Squizzato *et al.*, 2016).

Zdravotní studie ukazují na silnou asociaci poléťavého PM s nepříznivými dopady na lidské zdraví, které jsou spojené s omezením cest dýchacích, sníženou kapacitou plic, snížením plicních funkcí, zvýšením kardiovaskulárních chorob, pneumokoniózou, rakovinou a neurotoxickými účinky (Patra *et al.*, 2016). Zvýšené koncentrace PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ a PM_1 o $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ vedou ke zvýšenému (1,9%, 3,3% a 2,9%) riziku hospitalizace pro infarkt myokardu a respirační nemoci (Burnett *et al.*, 1999). Studie provedená Petersnem (2004) ukazuje, že u rizikové populace stačí krátkodobé (pouze hodinové) expozice vysokým koncentracím $\text{PM}_{2,5}$ pro zvýšené riziko vzniku infarktu myokardu. Prokázány byly také účinky částic $\text{PM}_{2,5}$ na aterosklerózu a srdeční funkce, kdy dochází k zvyšování množství lipidů v koronárních a aortálních lézích. Existuje také souvislost mezi expozicí PM a variabilitou srdeční funkce prokázané již po několikahodinové expozici (Polichetti *et al.*, 2009). Epidemiologické studie dále ukazují, že expozice jemným částicím může vést k plicním onemocněním, kardiovaskulárním účinkům a oslabení imunitního systému (Brouwer *et al.*, 2004).

Hnědé uhlí a lignit těžený v DNT řadíme podle Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. mezi prachy s nespecifickým účinkem a u pracovníků existují velké interindividuální rozdíly. V pracovním prostředí se účinky odvíjejí především od množství prachu a tělesné namáhavosti práce, tedy nároků na plicní ventilaci. Výsledkem studie Loveho (1997) zkoumajícího pracovní expozici v povrchových uhelných lomech v Anglii, Skotsku a Walesu je existence rizika vzniku pneumokoniózy zejména u horníků pracujících v lomu řadu let. Především se jedná o pracovníky podílející se na odstranění nadložní vrstvy zeminy, tedy řidiče dozerů, rýpadel a dále tým lidí, který provádí vrtání hornin.

5.3 Možná opatření vedoucí k ochraně pracovníků

Z výše zmíněných důvodů je důležité jednak se snažit o stálé snižování expozičních limitů, především u profesí s nejvyšším rizikem (Love, 1997), jednak chránit pracovníky před prašností prostředky, ať už technologickými nebo osobními ochrannými pomůckami. Mezi používané

osobní ochranné prostředky patří respirátory a masky s filtry pro daný typ znečištění. Tyto pomůcky jsou pracovníci v lomu povinni nosit. Všichni zaměstnanci by měli být také podrobeni pravidelným lékařským prohlídkám. V Dolech Nástup Tušimicích se tyto periodické kontroly, zahrnující i vyšetření dýchacích funkcí, uskutečňují každé tři roky, přičemž frekvence a míra vyšetření závisí na kategorii rizika, do které byl pracovník zařazen. Kategorizace pracovišť, která je stanovená vyhláškou 432/2003 Sb., pomáhá hodnotit vliv práce na lidské zdraví. Celkem jsou pracovníci rozřazováni do čtyř kategorií podle míry rizika. Do kategorie první se řadí všechny práce, při nichž by neměl nastat nepříznivý vliv na zdraví. V kategorii druhé také nejsou hygienické limity překračovány, můžeme však u vybraných jedinců výjimečně očekávat nepříznivý vliv práce na zdraví. Při překročení hygienických limitů na pracovišti řadíme práce buď do kategorie tři, nebo čtyři. Ve třetí kategorii je možný opakovaný výskyt nemocí z povolání, v kategorii čtvrté je i přes používání dostupných a použitelných ochranných opatření vysoké riziko ohrožení zdraví.

Mezi možná protiprašná opatření v rámci celého areálu lomu patří také tzv. technologické prostředky, kterými mohou být např. zakrytování dálkových pásových dopravníků, zakrytování celých technologických úseků v uzavřených budovách či zkrápění důlních nezpevněných cest pomocí cisteren (Integrovaná prevence, [online]).

5.4 Hygienické limity pro pracovní prostředí

Hygienické limity v pracovním prostředí se liší od limitů stanovených pro životní prostředí a jsou závislé na délce pracovní doby. Zatímco v pracovním prostředí jsou lidé vystaveni koncentracím PM_x pouze omezenou dobu a exponovány jsou dospělé a zdravé osoby, v mimopracovním prostředí je rizikovým faktorům vystavena celá populace po dlouhé časové období.

Podle Nařízení vlády 361/2007 Sb. se hygienickými limity rozumí přípustné expoziční limity (PEL) a nejvyšší přípustné koncentrace (NPK-P), u nichž je brán ohled na fyzikálně-chemické vlastnosti. PEL pro celkovou (vdechovatelnou) koncentraci je označován jako PEL_c a pro respirabilní frakci jako PEL_r. Pro hnědé uhlí a lignit je stanoven pouze PEL_c, zatímco pro černé uhlí je stanoven i PEL_r. PEL_c pro osmihodinovou pracovní dobu je $10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, z čehož plyne, že pro dvanáctihodinovou pracovní dobu, což je obvyklá pracovní doba zaměstnanců DNT, je limit $6,7 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Ve čtvrté kategorii rizika negativního účinku na zdraví jsou pracovníci, u nichž byl zjištěn trojnásobek této hodnoty.

6 Měření koncentrace prachu v pracovním prostředí

Při většině pracovních činností člověka dochází k uvolňování částic. Jejich koncentrace je potřeba v pracovním ovzduší sledovat, hodnotit a následně vytvářet opatření, která by zabránila poškozování zdraví pracovníků nebo alespoň snížila riziko poškození zdraví na minimum. Pro vyjádření míry znečištění ovzduší se používají koncentrace prachu buď hmotnostní, nebo početní v objemu vzduchu. Pro stanovení prašnosti na pracovišti se používá metoda gravimetrická a zjištěné hmotnostní koncentrace prachu se vyjadřují v $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Expozice pracovníků je pak vyhodnocována na základě porovnání zjištěných koncentrací s limitními hodnotami. V pracovním prostředí je to časově vážená průměrná koncentrace za pracovní směnu a přípustný expoziční limit (PEL). Porovnáním změřených koncentrací s příslušnými PEL získáme přehled o situaci na pracovišti z hlediska expozice prachu, stupně rizika a také účinnosti protiprašných opatření (Prašnost na pracovišti, [online]).

Výsledky dlouhodobých studií byly přeneseny do legislativy, která uvádí jednotný postup při měření a posuzuje účinky prachu v pracovním prostředí. V České republice je základním předpisem Nařízení vlády 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. V USA je klíčovou legislativou, vztahující se ke zlepšení zdraví horníků, Zákon o bezpečnosti a zdraví v uhelných lomech. Rozdíl při měření expozice pracovníků povrchového lomu v obou zemích je ve sledované frakci. Zatímco v České republice se v hnědouhelných lomech gravimetricky stanovuje celková prašnost, respektive na ní existuje hygienický limit, v USA se sleduje respirabilní prach pomocí kaskádních personálních impaktorů (Cantrell a Volkwein, 2001).



Obr. 2 Odběrová hlavice IOM a impaktor Sioutas (Odběrová hlavice IOM, Sioutas Personal Cascade Impactor [online]).

V zahraniční praxi používanými technikami pro měření částic TSP (Total Suspended Particles), PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$ jsou jednak gravimetrické analýzy využívané pro hodinové a denní měření a dále on-line metody zahrnující Beta metr, Nefelometr, TEOM (Tapered element oscillating microbalance) a Fotoelektrický snímač aerosolů (PAS). V případě osobních odběrů lze použít opět gravimetrických metod (impaktorů či cyklónů) pro krátké časové náměry nebo méně využívaných analýz rozptylu světla či PAS (Monn, 2001).

6.1 Gravimetrické stanovení celkové prašnosti

Každé gravimetrické měření se skládá ze tří částí. Jsou to jednak přípravné práce v laboratoři, vlastní odběr, zpracování vzorku a výpočet koncentrace prachu. Metoda se využívá pro krátký časový interval většinou odpovídající jedné pracovní směně.

6.1.1 Princip gravimetrického stanovení celkového prachu

Postup zkoušky spočívá ve stanovení hmotnostní koncentrace vdechovatelné frakce v pracovním ovzduší osobní nebo stacionární odběrovou aparaturou. Vzduch je prosáván zařízením s filtrem, na němž se určitá frakce kvantitativně zachytí. Koncentrace je vypočtena z rozdílů hmotností filtru před měřením a po měření. Prosávání zajišťuje čerpadlo, jehož průtoková rychlost je v rozmezí 1 – 3,5 l/min a musí být dodržena po celou dobu měření.

6.1.2 Vzorkování, konzervace, přeprava vzorků

Pro gravimetrické stanovení je nutné před měřením umístit filtr na 24 hodin do exsikátorů pro ekvilibraci na 50% vlhkost. Té je docíleno vložením nasyceného roztoku K_2CO_3 do exsikátoru. Poté je filtr zvážen na pětimístných analytických vahách a následně je vložen do odběrové hlavice IOM, která je hadicí připojena k čerpadlu. V případě osobního odběru je aparatura zavěšena na pracovníka tak, aby odběrová hlavice byla umístěna v dýchací zóně pracovníka. V případě stacionárního odběru se aparatura připevní na stativ do výšky 150 cm, pokud se jedná o stojícího pracovníka a 110 cm v případě sedícího pracovníka. Vzorek prachu je získán prosáváním zkoumaného ovzduší odběrovou aparaturou s filtrem. Vzorek se uchovává a transportuje v odběrové hlavici, popř. v transportních obalech tak, aby bylo zabráněno kontaminaci filtru prachem, který není předmětem měření. V laboratoři se filtry umísťují v Petriho miskách do exsikátoru opět na dobu alespoň 24 hodin. Poté jsou filtry zváženy a na základě rozdílů hmotností před expozicí a po expozici se zjistí koncentrace celkové prašnosti, přičemž se zohlední ve výpočtu hodnota slepého vzorku (Nařízení vlády 361/2007 Sb.). Celková koncentrace je vyjádřena následujícím vztahem:

$$c = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

c - koncentrace frakce ($mg \cdot m^{-3}$)

m_1 - hmotnost filtru před odběrem (mg)

m_2 - hmotnost filtru po odběru (mg)

V - objem odebraného vzorku (m^3).

6.2 Personální kaskádní impaktor

Personální kaskádní impaktor Sioutas je miniaturní kaskádní impaktor, který se skládá ze čtyř impakčních pater s následným koncovým filtrem. Tento typ impaktoru umožňuje separaci částic o následujících aerodynamických průměrech: $< 0,25$; $0,25 - 0,5$; $0,5 - 1$; $1 - 2,5$; $2,5 - 10 \mu\text{m}$ (Singh *et al.*, 2003).

6.2.1 Princip kaskádního personálního impaktoru Sioutas

Princip impaktoru spočívá ve vedení aerosolů skrz trysku, jejíž konec je namířen proti ploché tzv. impakční desce. Tato impakční destička odklání proud částic pod úhlem 90° . Velké částice mají dlouhou relaxační dobu, a tudíž nedokážou sledovat proudnici a narážejí na plochou desku, na níž ulpívají. Menší částice, jejichž relaxační doba je krátká, se tak srážce s impakční destičkou vyhnou. Kaskádový impaktor je složen z několika impakčních pater, která se liší průměrem trysky a vzdáleností trysky od impakční desky. Na každém stupni je nasazen na místě impakční desky impakční substrát pro gravimetrickou a případně chemickou analýzu odebraných částic (Hinds, 1999). Impaktor je hadicí napojen na čerpadlo, které zajišťuje průtok okolního vzduchu impaktorem 9 l/min po celou dobu měření (Singh *et al.*, 2003).

6.2.2 Vzorkování, konzervace, přeprava vzorků

Čisté filtry před vložením do impaktoru je třeba ekvilibrovat na 50% vlhkost po dobu 24 hod. v exsikátoru s $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ a následně zvážit na mikrováhách. Dále se filtry vkládají do jednotlivých pater impaktoru, který je poté sestaven. Umístění impaktoru pro osobní i stacionární odběr je stejné jako u standardní gravimetrické metody pro stanovení celkové prašnosti na pracovišti. Po ukončení měření je impaktor v laboratoři rozložen a filtry z něj vyjmuty. Filtry se následně umísťují v Petriho miskách do exsikátoru na dobu alespoň 24 hodin. Nakonec jsou zváženy a z rozdílu hmotností je vypočtena koncentrace pro příslušnou frakci.

7 Severočeské Doly, a. s.

Společnost Severočeské doly vznikla 1. ledna 1994 spojením Dolů Nástup Tušimice a Dolů Bílina v procesu restrukturalizace uhelného průmyslu (Severočeské doly a. s., 2011).

V současnosti jsou Severočeské doly, a. s. s produkcí 20 mil. tun uhlí ročně největšími producenty hnědého uhlí v České republice. Těžba probíhá lomovým způsobem na dvou lokalitách – Doly Nástup Tušimice (DNT) a Doly Bílina (DB). Doly Nástup Tušimice těží na lomu Libouš a produkují 13,5 mil. tun energetického uhlí ročně (Doly Nástup Tušimice, [online]). Těžba je situovaná do nejzápadnější části Ústeckého kraje mezi obce Černovice, Spořice, Droužkovice a Březno. Vytěžené uhlí je dodáváno dálkovými pásovými dopravníky především do místních elektráren Tušimice a Prunéřov, ale určitá část směřuje po kolejové dopravě i do vzdálenějších elektráren Mělník, Počeradý, Opatovice a do teplárny Komořany. Roční těžba nadložních zemin na skrývce je cca 26,5 mil. m³ (Skupina Severočeské doly, 2013). Nadložní zeminy tvoří převážně montmorillonitické jílovce, které dále obsahují křemen, kaolinit, illit a stopy živců (Šefl, 2010).

Doly Bílina produkují nízko sirnaté, tedy kvalitnější, tříděné a energetické uhlí. Rozkládají se na území Bílinska a Teplicka, přičemž roční těžba se pohybuje okolo 10 mil. tun uhlí při cca 53 mil. m³ odklizu nadložní vrstvy (Doly Bílina, [online]). Na lomu Bílina tvoří svrchní horizont kaoliniticko-illitické jílovce (Šefl, 2010). Energetické uhlí dodávají do elektráren Ledvice, Mělník III a do dalších velkých tepláren (Skupina Severočeské doly, 2013).

7.1 Technologické vybavení Dolů Nástup Tušimic

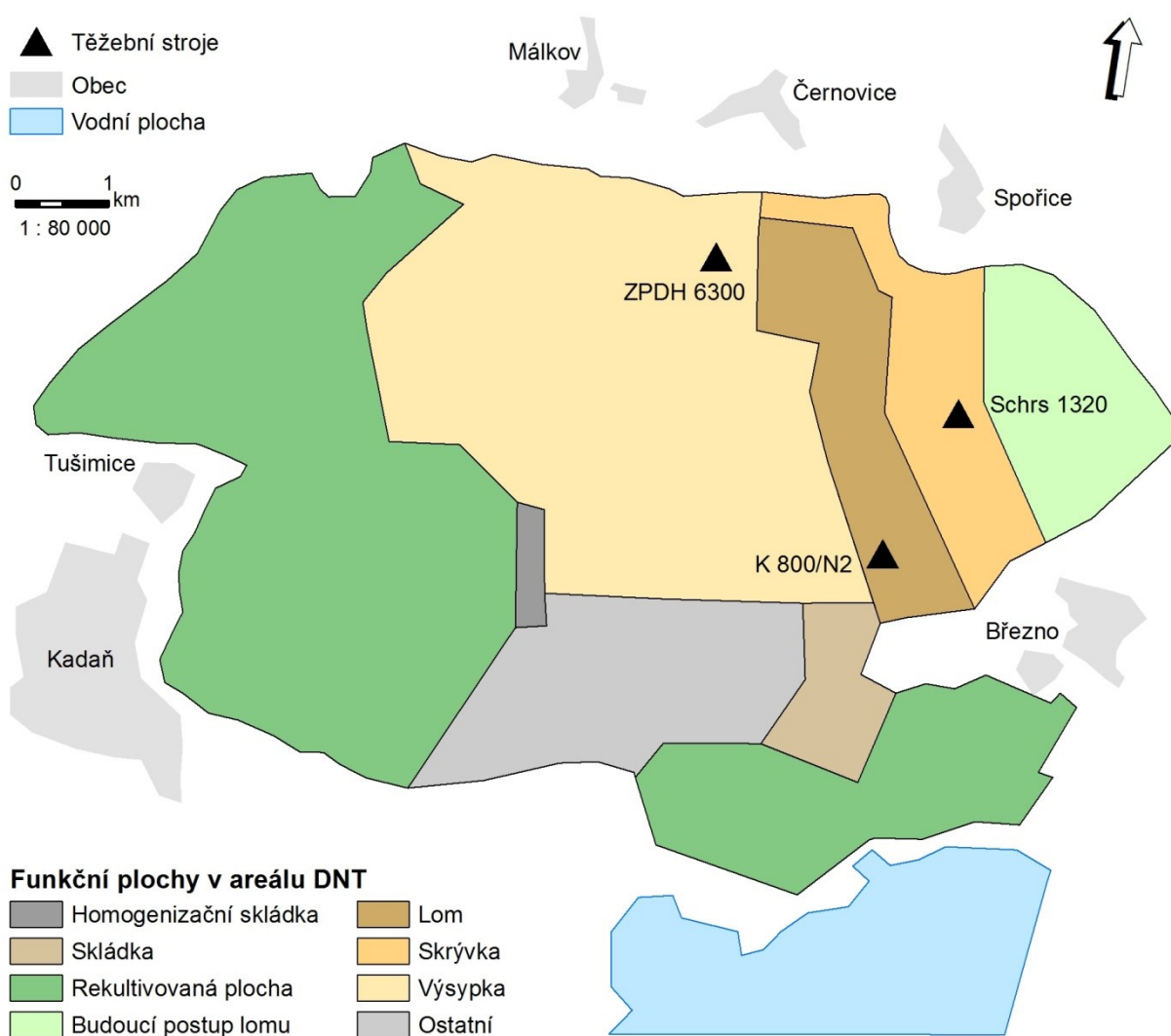
Dobývacími stroji v DNT pro těžbu uhlí a zeminy jsou kolesová rýpadla různých typů respektive o různých výkonech, která se řadí do skupiny strojů s nepřetržitým pracovním cyklem a jsou všechna poháněna elektrickým proudem. Pro experimentální měření byla sledována pracoviště kolesových rýpadel typu Schrs 1320 a K 800/N2 a pracoviště zakládacího vozu ZPDH 6300.

Pro těžbu skrývky jsou nasazena rýpadla KU 800 na 3. skrývkovém řezu, Schrs 1550 na 1. skrývkovém řezu a Schrs 1320 řady TC2 na 2. skrývkovém řezu. Kolesové rýpadlo Schrs 1320 je schopné těžít skrývku bez předcházející nátržné střelby, která se dříve v DNT používala pro narušení pevných hornin. Výška stroje činí 60 m, váží 4094 t a jeho teoretický výkon je 5 500 m³/h. Průměr kola s korečkou je 12,5 m, přičemž objem jednoho korečku je 1320 l. Tento typ stroje se skládá ze tří částí, kterými jsou kolesové rýpadlo, spojovací pásový most a nakládací vůz. Pohyb stroje je zprostředkován housenicemi. Materiál nabíraný kolesem je přepravován z pásů na kolesový výložník přes mezipas, který je ve spodní části stroje shazován na pás na spojovacím mostě. Z mostu je zemina převáděna na pás na nakládacím voze.

Na dálkový pasový dopravník je materiál shazován přes dopadový stůl zavěšený na konci nakládacího dopravníku (Vrba, 2015).

Skrývka je dopravována DPD o šířce 1800 mm na výsypky k zakládacím vozům ZP 6800, ZP 5500, ZPDH 6300, ZP 6800 (Filingr, 2015). Zakládací stroj ZPDH 6300, který se nachází na 3. skrývkovém řezu, má teoretický výkon $6\,300\text{ m}^3/\text{h}$ a provozní hmotnost 1429 t (Vrba, 2015). Délka výložníkového ramena činí 90,6 m, přičemž maximální výška zakládání je 26 m. Stejně jako kolesová rýpadla řady TC2 má zakládací vůz housenicový typ podvozku (ZPDH 6300, [online]).

Uhelný řez dosahuje mocnosti cca 25 m. V severní části je nasazeno rýpadlo K 800/N2 a v jižní části rýpadlo KU 300 S. Kolesové rýpadlo K 800/N2 je výrobně starší než Schrs 1320. Koleso je tvořeno deseti korečky o objemu 800 l. Jeho výkon činí $2300\text{ m}^3/\text{h}$ a váží 1400 t.



Obr. 3 Provozní plochy Dolů Nástup Tušimic, budoucí postup lomu a již rekultivované plochy (vlastní zpracování ArcGIS)

Stejně jako u předchozích strojů má i tento typ rýpadla housenicový typ podvozku (Stroje pro povrchové dobývání uhlí, [online]).

Vytěžené uhlí je přepravováno dopravníky o šířce 1200 a 1600 mm k drcení a homogenizaci a následně je přepravováno do Elektráren Tušimice – ČEZ, případně je nakládáno na kolejovou dopravu a vyváženo k dalším odběratelům.

8 Experimentální část

8.1 Přístrojové vybavení

Monitorování koncentrací jednotlivých frakcí umožnily přenosné laserové nefelometry DustTraky DRX. Kromě on-line měření byla provedena také metoda standardní gravimetrie dle Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., která je pravidelně používána Laboratoří hygieny práce v DNT, a metoda dle US EPA využívající personální kaskádní impaktor Sioutas. Průběhy teploty a vlhkosti zprostředkovaly digitální záznamové teploměry-vlhkoměry s externí sondou.

8.1.1 DustTrak DRX

Pro měření prachových částic byly použity přenosné laserové nefelometry DustTraky DRX, model 8533 (TSI), měřící částice o velikostech od 0,1 do 10 μm . Oba DustTraky (DT) jsou kalibrovány na arizonský silniční prach (TSI, 2017). Integrační doba měření byla u obou DT nastavena na 1 minutu.

Přístroje byly uloženy do přenosných vodotěsných kufříků Environmental Enclosures (TSI). Vstupní částí zařízení je odběrová hlavice (inlet), která vystupuje z horní části kufříku a umožňuje odběr polétavých částic ze všech směrů, přičemž je propojena k detektoru umělohmotnou hadičkou. V tomto úseku se nachází také nádržka pro zachycování vodních kapiček, které jsou nasávány v případě dešťových srážek. Vzduch s aerosolem putuje dále tenkou tryskou, ta jej usměrňuje v tenký “paprsek” vstupující do trubičky. Do té se současně vnáší čistý vzduch, který svou rychlostí vytváří podtlak, a tím vzduch s částicemi nasává. Zároveň zabráňuje usazování částic na stěnách trubičky a reguluje je do jejího středu. Částice pak pod úhlem 90° protínají infračervený paprsek o vlnové délce 733 nm. Měří se intenzita odraženého záření, která se následně převádí na hmotnostní koncentraci částic v objemu vzduchu.

8.1.2 Teploměr-vlhkoměr AirFlow

Měření mikroklimatických podmínek, teplotu vzduchu a vlhkost vzduchu, zprostředkovaly digitální záznamové teploměry-vlhkoměry s externí sondou typu D3121 firmy AirFlow, které ukládaly naměřené hodnoty v pětiminutových intervalech.

8.1.3 Standardní gravimetrie a gravimetrie dle US EPA

Pro standardní gravimetrické měření bylo použito osobní odběrové čerpadlo TUFF 4 Casella, napojené na odběrovou hlavici IOM, v níž byly umístěny filtry Whatman GF/B. Ověření průtoku

zajistil průtokoměr PMR a měření mikroklimatických podmínek (teplotu vzduchu, vlhkost vzduchu, tlak) zajišťovaly přístroje firmy Testo 432-2 a Testo 511.

Pro gravimetrické měření stanovené US EPA bylo použito čerpadlo Leland Legacy Sample Pump připojené k PCIS, v němž byly vloženy filtry 25 mm (0,5 μm PTFE), a koncový filtr s průměrem 37 mm (2,0 μm PTFE). Průtok byl ověřen teplotním hmotnostním průtokoměrem TSI.

8.2 Přípravné práce v laboratoři

Před použitím přístrojů v terénu bylo zapotřebí jejich seřízení. Jednak byl u obou DustTraků ověřen průtok pomocí teplotního hmotnostního průtokoměru na požadované 3 l/min. Jelikož oba přístroje, přestože měří ve stejném čase a místě, vykazují v naměřených hodnotách jisté rozdíly, bylo provedeno tzv. kolokační měření, při kterém oba DT současně měřily aerosol vyskytující se v místnosti v daný čas za proměnných koncentrací po dobu 120 min. Prostřednictvím regresní křivky byl získán koeficient přepočtu a hodnota spolehlivosti R. Tímto postupem byl jeden z přístrojů označen za referenční, k němuž se pak vztahovaly hodnoty získané druhým přístrojem. Před měřením se provedla u obou DT také nulová kalibrace pomocí nulového filtru (HEPA filtru) připojeného k inletu, kterou je nutné provádět vždy před měřením.

Jak již bylo zmíněno v šesté kapitole, součástí každé gravimetrické analýzy je ekvilibrace filtrů na 50% vlhkost, kterou se dosáhne jejich vložením do exsikátoru na 24 hod. Takto ekvilibrované filtry se poté váží na pětimístných analytických vahách a zvážené se vkládají do odběrových hlavic IOM a impaktorů PCIS. Další přípravy v laboratoři zahrnují měření průtoků obou čerpadel, a to před zahájením a na konci každého měření. U standardní gravimetrie byl průtok čerpadla nastaven na 2 l/min pomocí kuličkového rotometru, zatímco průtok čerpadla pro PCIS byl nastaven na 9 l/min, a to teplotním hmotnostním průtokoměrem TSI.

8.3 Terénní výzkum

V rámci terénního výzkumu se uskutečnilo třítýdenní měření v období od 12. 8. do 2. 9. 2016, na kolesovém rýpadle Schrs 1320, kolesovém rýpadle K 800/N2 a zakládacím voze ZPDH 6300 v hnědouhelném povrchovém lomu Libouš (DNT). Od 12. 8. do 19. 8. 2016 proběhlo měření na kolesovém rýpadle Schrs 1320, které se nachází na 2. skrývkovém řezu. Od 19. 8. do 26. 8. 2016 bylo měření přemístěno na zakládací vůz ZPDH 6300 situovaný na 3. skrývkovém řezu a poslední týden od 26. 8. do 2. 9. se uskutečnilo měření na kolesovém rýpadle K 800/N2, které těží v uhelném lomu Libouš Sever II. Všechny stroje byly vybrány na základě vysoké těžební činnosti, a tedy i dle předpokladu vyšší expozice pracovníků koncentracím prachu. Současně

s měřidlem prašnosti se kontinuálně měřily i mikroklimatické podmínky – teplota vzduchu a vlhkost vzduchu. Vždy v první den měření na příslušném těžebním stroji se uskutečnilo v kabině řidiče také cca sedmihodinové měření gravimetrickou metodou.

8.3.1 Umístění přístrojů

Výběr stanovišť pro měření pomocí DustTraků byl takový, aby jedno stanoviště reprezentovalo vnitřní prostředí (kabina řidiče) a druhé, aby představovalo prostředí venkovní (část ochozu kolesového rýpadla). Z důvodu rozdílné konstrukce těžebních strojů nebylo možné umístit DustTraky pokaždé na stejné místo ve venkovním prostředí. Proto byla vybrána taková místa, kde se pracovníci nejčastěji vyskytují.

Na kolesovém rýpadle Schrs 1320 byl DT č. 1 umístěn na mezipas C2, což je místo středové sýpky, kde je současně umístěna hydraulika a mazání natáčecích podvozků. DT byl instalován na tripod ve výšce 160 cm nad zemí, aby měření reprezentovalo dýchací zónu stojících pracovníků. DT č. 2 byl umístěn do kabiny řidiče, ale pouze do výšky 50 cm z důvodu nedostatečného prostoru. Na zakládacím stroji ZPDH 6300 byl DT č. 1 umístěn do výšky 160 cm na venkovním ochoze v blízkosti motorů, hydrauliky a elektřiny. DT č. 2 byl umístěn do kabiny řidiče ve výšce 70 cm. Na kolesovém rýpadle K 800/N2 byl DT č. 1 umístěn na spodním ochoze v úrovni venkovního přesypu ve vzdálenosti cca 2 m od pásového dopravníku v těsné blízkosti odpočinkového prostoru. V případě kabiny řidiče byl DT č. 2 umístěn pouze do výšky 50 cm. Pro zajištění stálého napájení byly DustTraky po celou dobu měření zapojeny do elektrické sítě 220 V. V blízkosti DustTraků byly současně umístěny teploměry-vlhkoměry AirFlow.

Standardní gravimetrie dle Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. a gravimetrie PCIS dle US EPA se uskutečnila vždy v první den měření na příslušném těžebním stroji a trvala cca 7 hod. Stativ ve výšce 110 cm byl pokaždé umístěn do kabiny řidiče tak, aby odběrová hlavice IOM a PCIS byly upevněny do stejné výšky a směřovaly dovnitř místnosti. Na začátku a na konci gravimetrického měření byla zaznamenána teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu a tlak.



Obr. 4 Umístění DT č. 2, odběrové hlavice IOM a PCIS v kabině řidiče (vlevo). Umístění DT č. 1 ve venkovním prostředí na mezipase C2 (vpravo).

8.3.2 Popis pracovišť

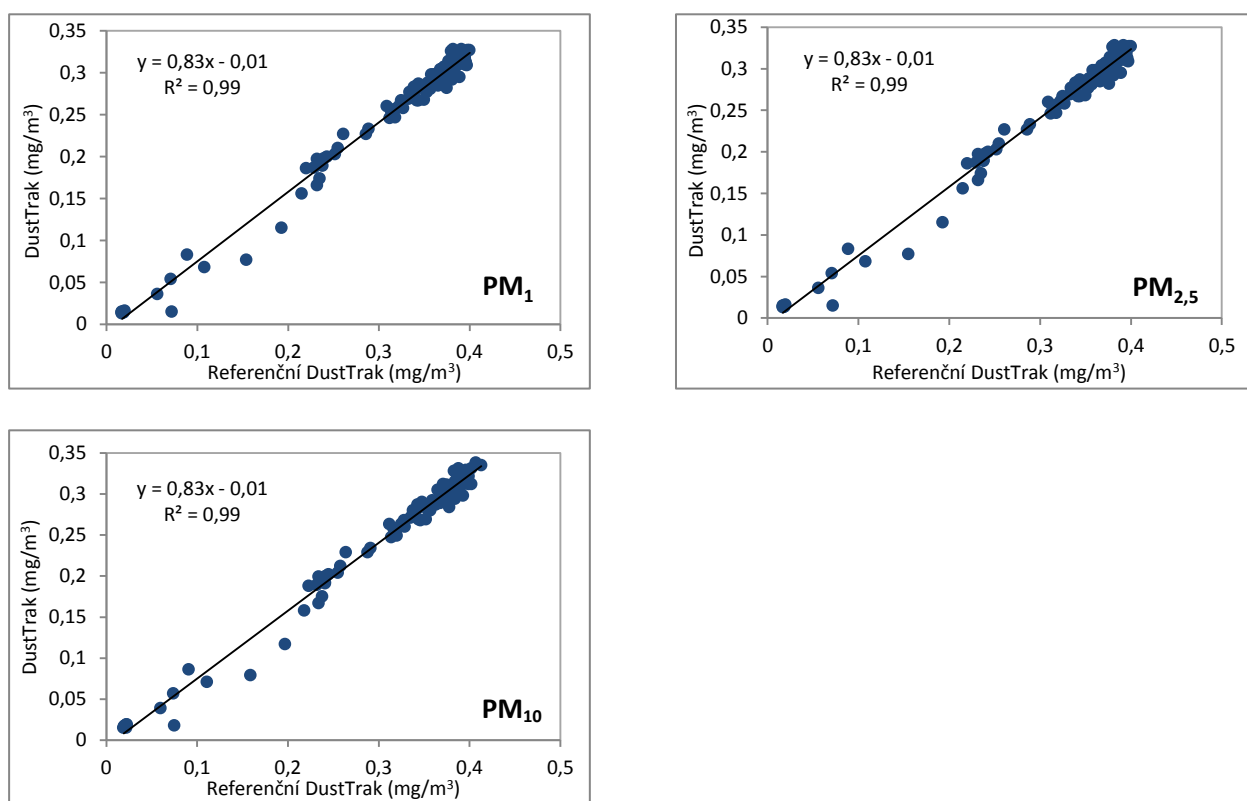
Schrs 1320 obsluhuje během jedné pracovní směny sedm zaměstnanců o různých profesích. Jsou jimi klapkař, vedoucí řidič velkostroje, tři zámečníci a dva elektrikáři. ZPDH 6300 obsluhuje během jedné pracovní směny pět pracovníků, kterými jsou vedoucí řidič, dva zámečníci, elektrikář a řidič shazovacího vozu. Na kolesovém rýpadle K 800/N2 pracuje současně šest pracovníků, jimiž jsou řidič velkostroje, dva elektrikáři, dva zámečníci a klapkař. Všichni pracovníci vykonávají dvanáctihodinové pracovní směny a střídají se v cyklu A, B, C, D. Řidič kolesového rýpadla i zakládacího vozu ovšem neřídí po celou svou pracovní dobu. Během směny je střídán jiným pracovníkem, zámečnickem nebo elektrikářem a vykonává jinou pracovní činnost než je řízení rýpadla. Většinou provádí pochůzkovou činnost a administrativu. V případě denní směny řídí stroj zástupce řidiče od 10:00 do 14:00 hodin a v noční směně je řidič střídán od 22:00 do 2:00 hodin. Přestávky tráví pracovníci v místnosti pro odpočinek, která se nachází vždy ve spodní části stroje.

9 Výsledky

Práce obsahuje výsledky z kolokačního měření a z experimentálního měření v DNT získané přístroji DustTrak DRX a dále gravimetrickými metodami odběru. Naměřené koncentrace byly graficky znázorněny v grafickém programu CoPlot a CoStat a statisticky vyhodnoceny v programu SPSS.

9.1 Kolokační měření

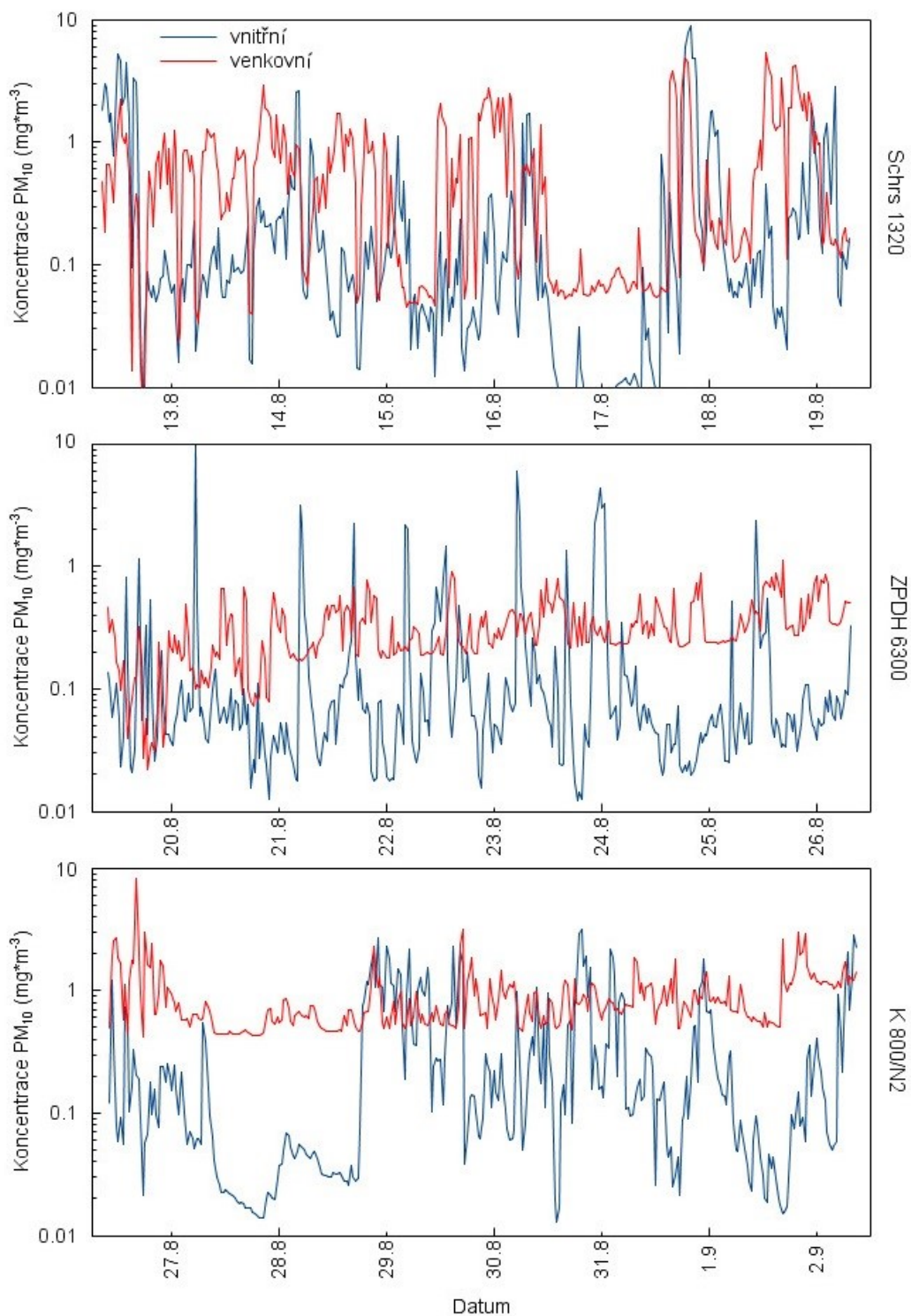
Lineární regrese koncentrací PM_1 , $PM_{2,5}$ a PM_{10} měřených DustTraky DRX je velmi těsná, a proto bylo možné přístroje použít pro měření na těžebních strojích v DNT.



Obr. 5 Lineární regrese jednodinutových koncentrací PM_x měřených DustTraky DRX

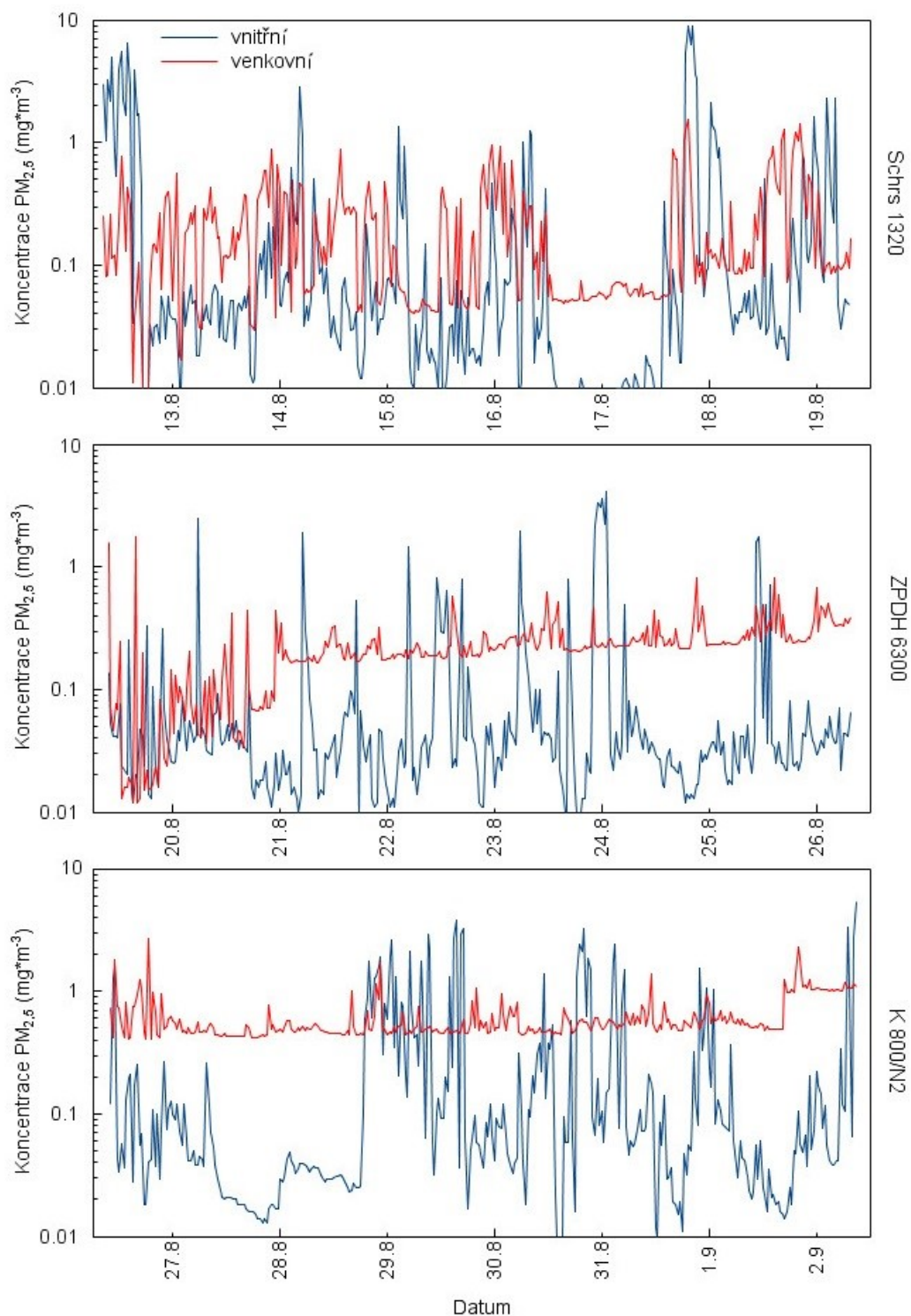
9.2 Měření na pracovištích Schrs 1320, ZPDH 6300, K 800/N2

9.2.1 Výsledky z DustTraků DRX

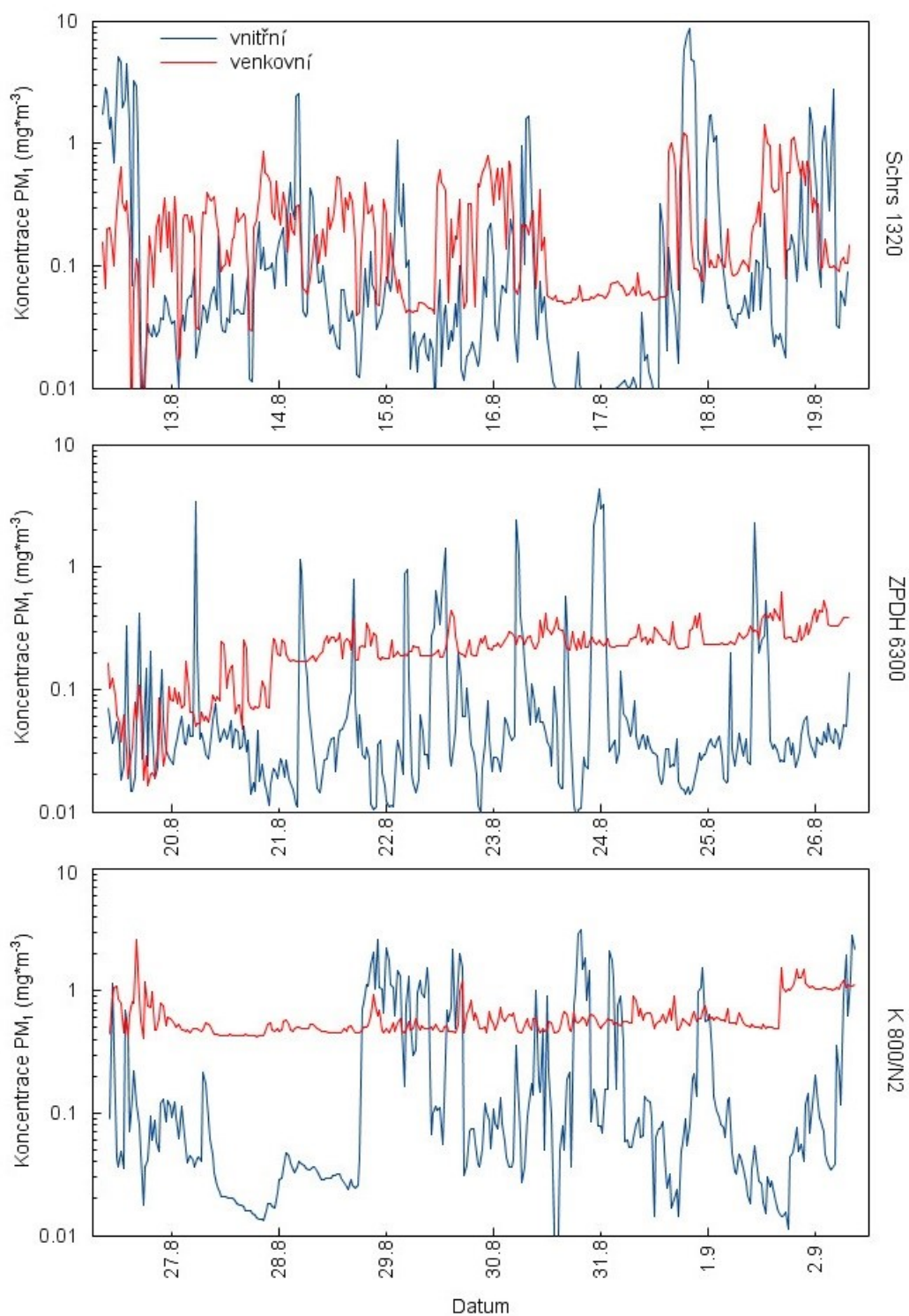


Obr. 6 Týdenní průběh třicetiminutových koncentrací PM₁₀ na těžebních strojích od 12. 8. do 2. 9. 2016.

Naměřené koncentrace PM_x se na těžebních strojích v čase mění (obr. 6-8) a mezi vnitřním a venkovním prostředím se značně liší. Z týdenního pozorování lze také vysledovat, kdy došlo k zastavení těžby. Jednalo se o Schrs 1320 v době od 16. 8. do 17. 8. a K 800/N2 od 27. do 28. 8.

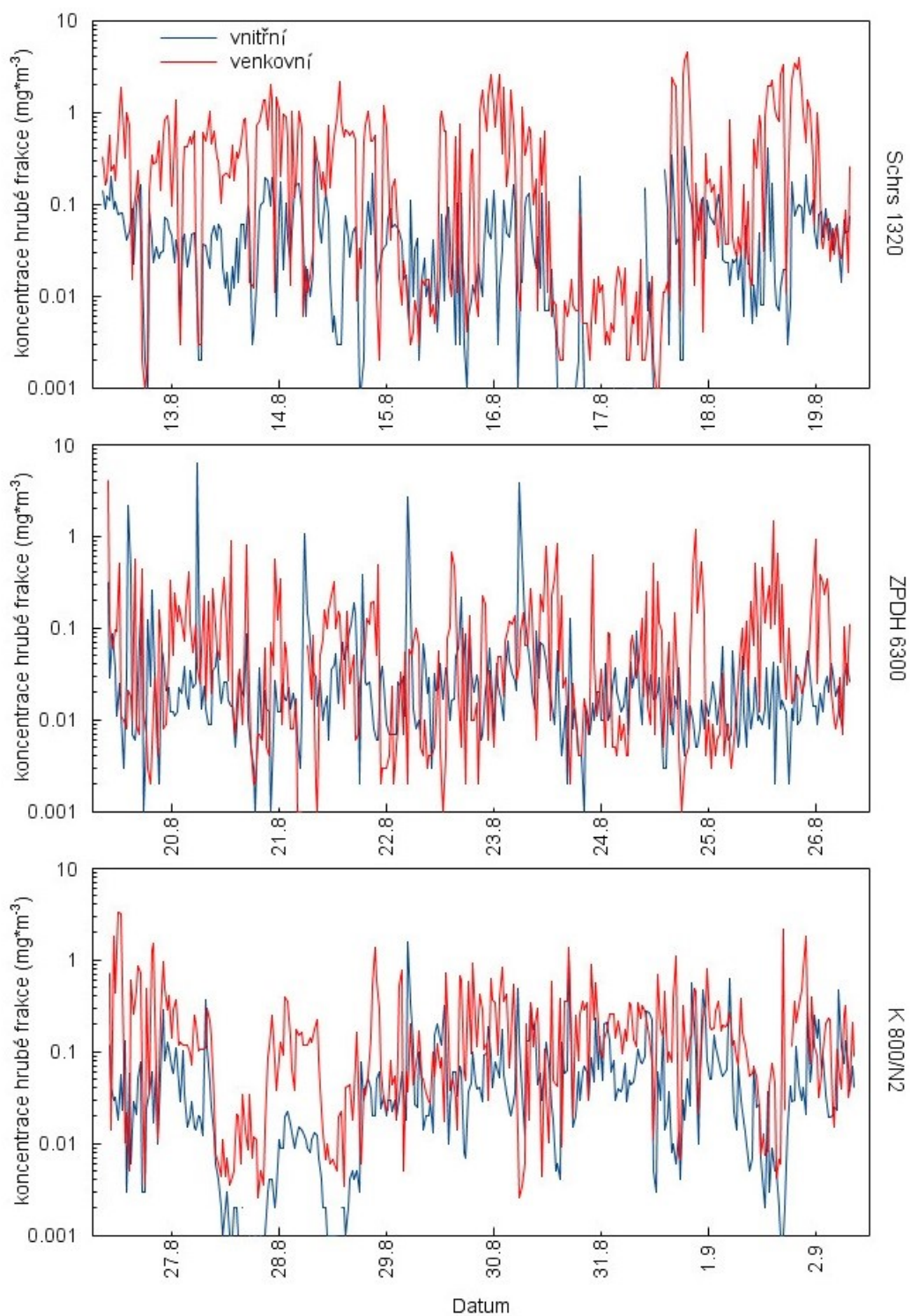


Obr. 7 Týdenní průběh třicetiminutových koncentrací $PM_{2.5}$ na těžebních strojích od 12. 8. do 2. 9. 2016.



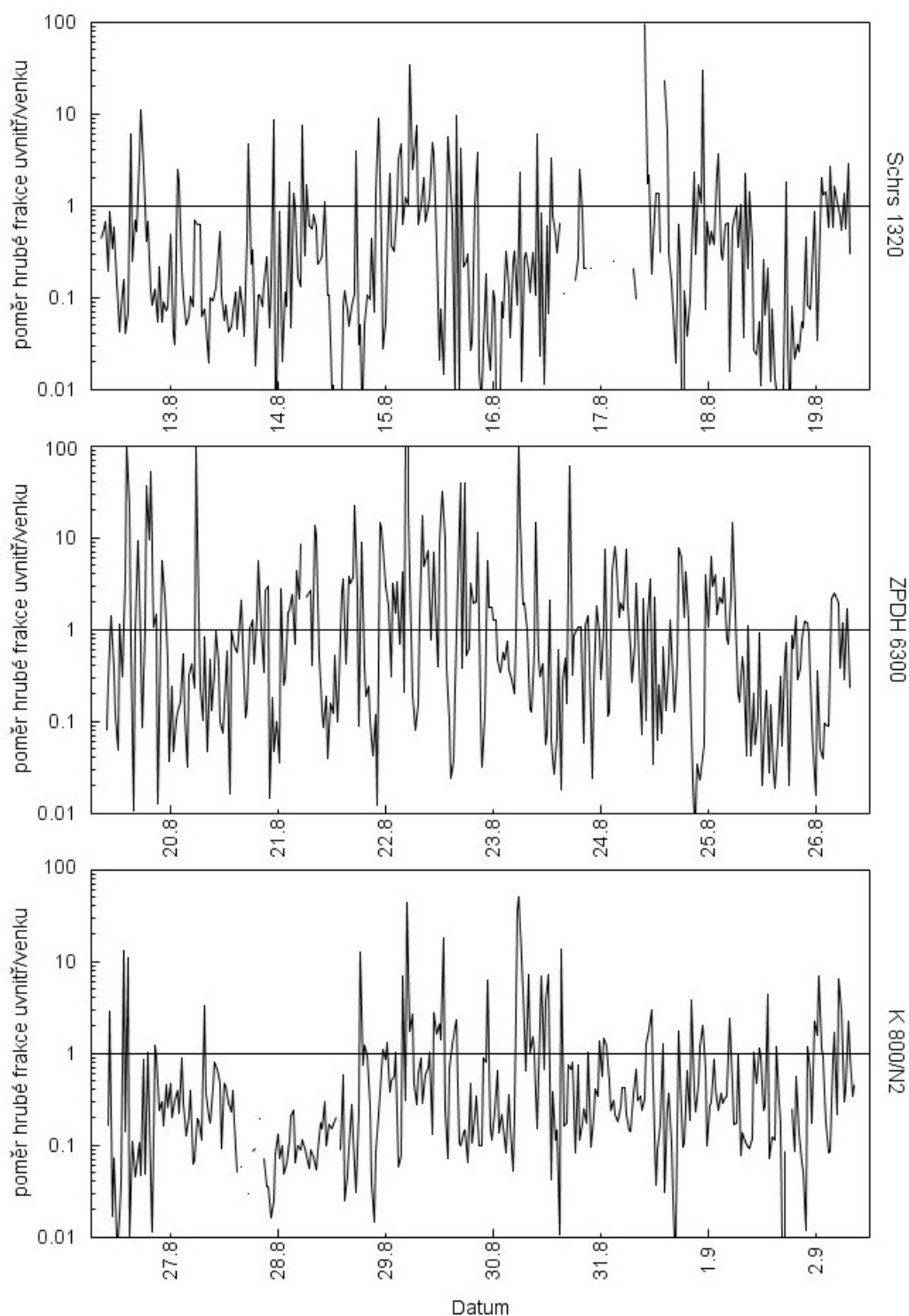
Obr. 8 Týdenní průběh třicetiminutových koncentrací PM₁ na těžebních strojích od 12. 8. do 2. 9. 2016.

Koncentrace hrubé frakce byly získány odečtením týdenních koncentrací PM_{10} a PM_1 na všech těžebních strojích. Tyto koncentrace vykazují ještě vyšší variabilitu než koncentrace PM_1 , $PM_{2,5}$ a PM_{10} .

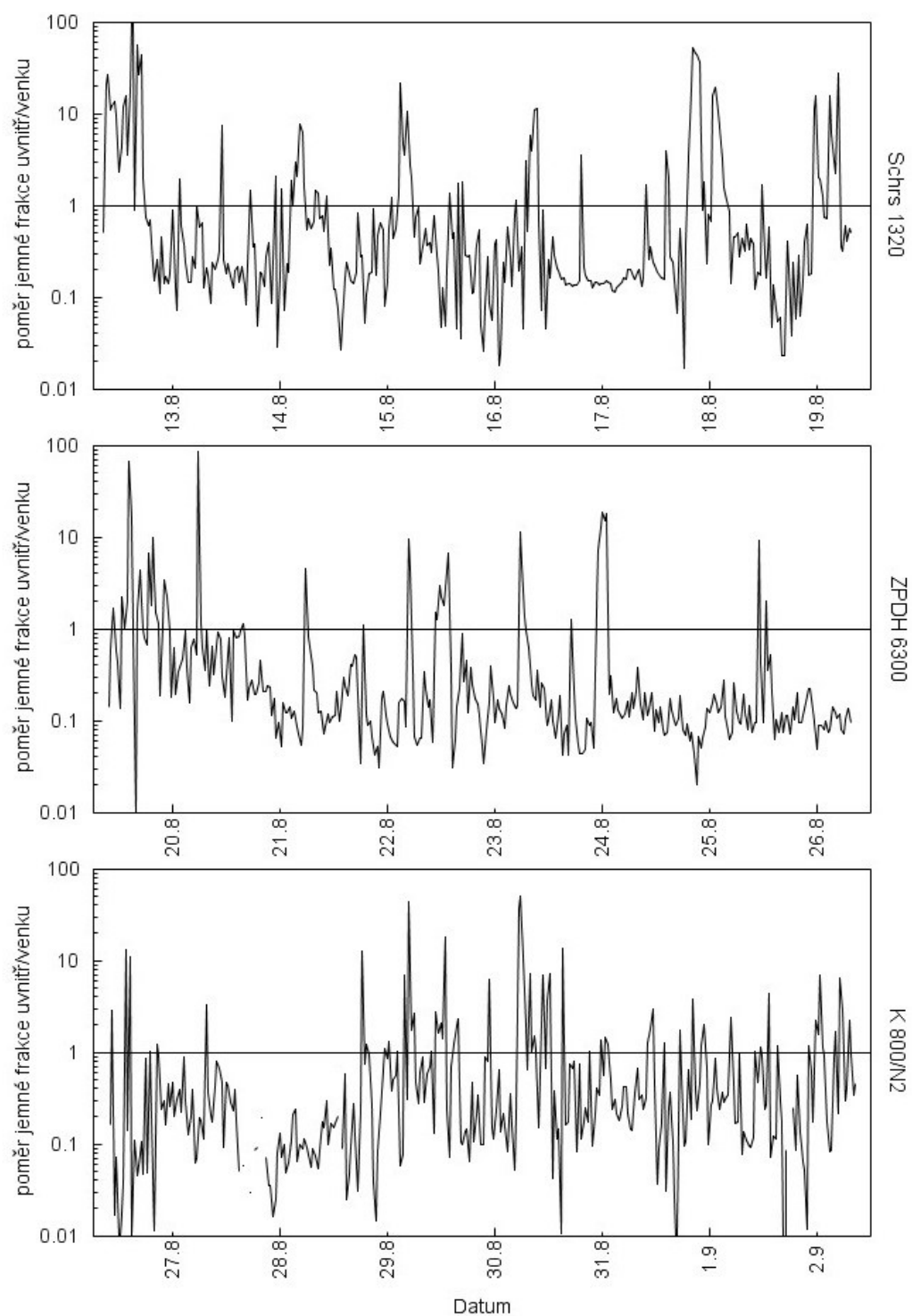


Obr. 9 Týdenní průběh třicetiminutových koncentrací hrubé frakce na těžebních strojích od 12. 8. do 2. 9. 2016.

Z porovnání hrubé frakce lze usuzovat, že na kolesových rýpadlech Schrs 1320 a K 800/N2 převládá hrubý aerosol ve venkovním prostředí. Na základním voze ZPDH 6300 tato převaha však jednoznačná není. Procentuální zastoupení hrubé frakce v obou typech prostředí je v tab. 1.



Obr. 10 Poměr hrubé frakce mezi vnitřním a venkovním prostředím od 12. 8. do 2. 9. 2016

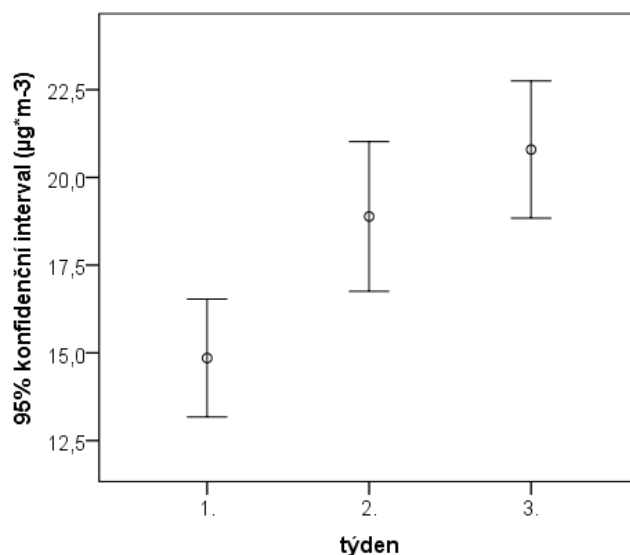


Obr. 3 Poměr jemné frakce mezi vnitřním a venkovním prostředím od 12. 8. do 2. 9. 2016

Tab. 1 Procentuální zastoupení hrubé a jemné frakce ve venkovním a vnitřním prostředí

		Schrs 1320	ZPDH 6300	K 800/N2
hrubá frakce (%)	uvnitř	21,1	39,3	18,1
	venku	78,9	60,7	81,9
jemná frakce (%)	uvnitř	22,9	14,2	14,1
	venku	77,1	85,8	85,9

Z důvodu malého počtu DustTraků se měření uskutečnilo na všech těžebních strojích postupně. Jelikož se pozad'ová koncentrace PM_{10} poskytnutá stanicí ČHMÚ v Chomutově během třítydenního období měnila (viz obr. 12), byly naměřené koncentrace v DNT těmito daty korigovány. Hodnoty PM_{10} tak mezi sebou mohly být vzájemně porovnatelné. Poskytnutá data ze stanice ČHMÚ v Chomutově jsou data neverifikovaná.

**Obr. 12** 95% konfidenční intervaly koncentrace PM_{10} ($\mu g \cdot m^{-3}$) během tří týdnů měření na stanici ČHMÚ v Chomutově

9.2.1.1 Porovnání pracovišť Schrs 1320, ZPDH 6300 a K 800/N2

V důsledku vysoké variability koncentrace částic PM_x v čase na jednotlivých těžebních strojích i mezi stroji Schrs 1320, ZPDH 6300 a K 800/N2 nebyly mezi sebou porovnávány týdenní koncentrace, nýbrž byly vybrány pracovní činnosti a kouření zjištěné na všech třech těžebních strojích. Teprve tyto periodické události byly mezi sebou srovnávány pomocí analýzy rozptylu a Games-Howellova testu. Jednotlivými zjištěnými pracovními činnostmi jsou střídání směn ráno a střídání směn večer (reprezentované zastavením těžby a jejím znovuzahájením), úklid ve venkovním prostředí ručním zametáním, úklid v kabině řidiče vysáváním.

Na základě definice centrální limitní věty není v případě dostatečného počtu hodnot (v řádu několika desítek) nutné zkoumat shodu rozložení naměřených hodnot s normálním (Gaussovým) rozdělením (Swoboda, 1977). Proto nebyla normalita dat u žádného z testů zkoumána.

Tab. 2 Statistický test ANOVA prokazující rozdíl venkovních koncentrací PM₁₀ mezi jednotlivými těžebními stroji během ranního střídání směn

	suma čtverců	stupně volnosti	průměr čtverců	F hodnota	signifikance
mezi skupinami	34,91	2	17,45	729,49	0,00
uvnitř skupin	14,02	586	0,02		
celkem	48,93	588			

Tab. 3 Games-Howellův test pro vícenásobné porovnání venkovní koncentrace PM₁₀ jednotlivých těžebních strojů během ranního střídání směn

(I) typ	(J) typ	průměrný rozdíl (I-J)	standardní chyba	signifikance	99% konfidenční interval	
					dolní mez	horní mez
Schrs	ZPDH	-0,17	0,01	0,000	-0,20	-0,15
	K 800	-0,59	0,02	0,000	-0,65	-0,54
ZPDH	Schrs	0,17	0,01	0,000	0,15	0,20
	K 800	-0,42	0,02	0,000	-0,48	-0,36
K 800	Schrs	0,59	0,02	0,000	0,54	0,65
	ZPDH	0,42	0,02	0,000	0,36	0,48

Tab. 4 Statistický test ANOVA prokazující rozdíl venkovních koncentrací PM₁₀ mezi jednotlivými těžebními stroji během večerního střídání směn

	suma čtverců	stupně volnosti	průměr čtverců	F hodnota	signifikance
mezi skupinami	56,61	2	28,30	24,74	0,000
uvnitř skupin	670,56	586	1,14		
celkem	727,17	588			

Tab. 5 Games-Howellův test pro vícenásobné porovnání venkovní koncentrace PM₁₀ jednotlivých těžebních strojů během večerního střídání směn

(I) typ	(J) typ	průměrný rozdíl (I-J)	standardní chyba	signifikance	99% konfidenční interval	
					dolní mez	horní mez
Schrs	ZPDH	0,33	0,11	0,006	0,02	0,64
	K 800	-0,42	0,14	0,007	-0,83	-0,01
ZPDH	Schrs	-0,33	0,11	0,006	-0,64	-0,02
	K 800	-0,75	0,20	0,000	-1,02	-0,48
K 800	Schrs	0,42	0,14	0,007	0,01	0,83
	ZPDH	0,75	0,09	0,000	0,48	1,02

Pro obě epizody střídání směn (ráno a večer) byla vybrána půlhodinová data, kdy pro ranní střídání byly porovnávány koncentrace PM_{10} od 5:45 do 6:15 a pro večerní střídání od 17:45 do 18:15. Zároveň z tohoto děje byly vyloučeny směny ve dnech, kdy neprobíhala těžba, což znamenalo vyloučení jedné ranní a jedné večerní směny na Schrs 1320 a K 800/N2.

Z výsledků statistického testu ANOVA a porovnání všech tří strojů Games-Howellovým testem během ranního střídání směn na 99% hladině spolehlivosti vyplývá, že se těžební stroje Schrs 1320, ZPDH 6300 a K 800/N2 v tomto epizodickém jevu liší. Podobně jako při epizodě ranního střídání jsou i při večerním střídání směn koncentrace PM_{10} mezi těžebními stroji odlišné.

Tab. 6 Statistický test ANOVA testující průměrné venkovní koncentrací PM_{10} mezi těžebními stroji při úklidu (ručním zametání)

	suma čtverců	stupně volnosti	průměr čtverců	F hodnota	signifikance
mezi skupinami	837,72	2	418,86	6,07	0,003
uvnitř skupin	10564,61	153	69,05		
celkem	11402,33	155			

Tab. 7 Games-Howellův test pro vícenásobné porovnání venkovní koncentrace PM_{10} jednotlivých těžebních strojů při úklidu (ručním zametání)

(I) typ	(J) typ	průměrný rozdíl (I-J)	směrodatná odchylka	signifikance	99% konfidenční interval	
					dolní mez	horní mez
Schrs	ZPDH	0,02	0,51	1,000	-1,53	1,56
	K 800	-4,63	1,31	0,002	-8,54	-0,71
ZPDH	Schrs	-0,02	0,51	1,000	-1,56	1,53
	K 800	-4,64	1,32	0,002	-8,59	-0,69
K 800	Schrs	4,63	1,31	0,002	0,71	8,54
	ZPDH	4,64	1,32	0,002	0,69	8,59

Výsledky testu ANOVA ukazují, že při pravidelném úklidu ručním zametáním ve venkovním prostředí se koncentrace PM_{10} mezi jednotlivými těžebními stroji na 99% hladině spolehlivosti liší. Ovšem Games-Howellův test odhalil, že koncentrace PM_{10} během úklidu se na 1% hladině významnosti neliší mezi těžebními stroji Schrs 1320 a ZPDH 6300, jelikož p-hodnota je v tomto případě vyšší než 0,01.

Tab. 8 Statistický test ANOVA prokazující rozdíl koncentrací PM₁₀ mezi jednotlivými těžebními stroji při úklidu (vysávání) v kabině řidiče

	suma čtverců	stupně volnosti	průměr čtverců	F hodnota	signifikance
mezi skupinami	764,23	2	382,12	63,90	0,000
uvnitř skupin	5184,65	867	5,98		
celkem	5948,88	869			

Tab. 9 Games-Howellův test pro vícenásobné porovnání koncentrací PM₁₀ jednotlivých těžebních strojů při úklidu (vysávání) v kabině řidiče

(I) typ	(J) typ	průměrný rozdíl (I-J)	směrodatná odchylka	signifikance	99% konfidenční interval	
					dolní mez	horní mez
Schrs	ZPDH	-1,32	0,23	0,000	-2,01	-0,64
	K 800	0,78	0,13	0,000	0,40	1,16
ZPDH	Schrs	1,32	0,23	0,000	0,64	2,01
	K 800	2,11	0,21	0,000	1,50	2,71
K 800	Schrs	-0,78	0,13	0,000	-1,16	-0,40
	ZPDH	-2,11	0,21	0,000	-2,71	-1,50

Z výsledku statistického testu ANOVA vyplývá, že pracovní činnost „úklid vysáváním“ se na 99% hladině spolehlivosti liší v kabinách řidičů všech těžebních strojů (Schrs 1320, ZPDH 6300 i K 800/N2). Games-Hawellovým testem rovněž nebyla prokázána shoda, a to ani na 1% hladině významnosti.

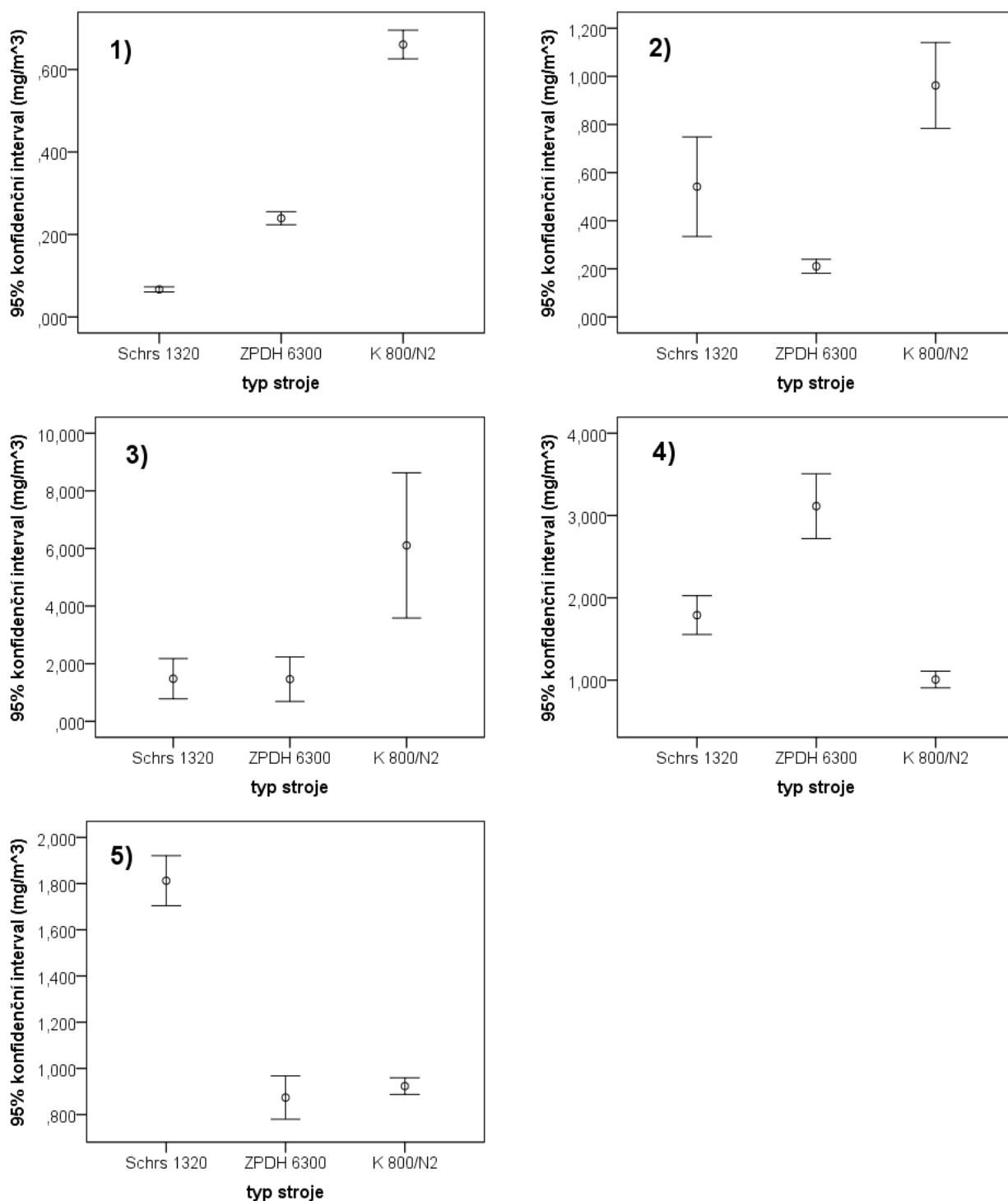
Tab. 10 Statistický test ANOVA testující průměrné koncentrace PM₁ mezi jednotlivými těžebními stroji při zapálení cigarety v kabině řidiče

	suma čtverců	stupně volnosti	průměr čtverců	F hodnota	signifikance
mezi skupinami	882,29	2	441,15	187,21	0,000
uvnitř skupin	11494,37	4878	2,36		
celkem	12376,66	4880			

Tab. 11 Games-Howellův test pro vícenásobné porovnání koncentrací PM₁ jednotlivých těžebních strojů při zapálení cigarety v kabině řidiče

(I) typ	(J) typ	průměrný rozdíl (I-J)	směrodatná odchylka	signifikance	99% konfidenční interval	
					dolní mez	horní mez
Schrs	ZPDH	0,94	0,07	0,000	0,73	1,15
	K 800	0,89	0,06	0,000	0,72	1,06
ZPDH	Schrs	-0,94	0,07	0,000	-1,15	-0,73
	K 800	-0,05	0,05	0,599	-0,20	,010
K 800	Schrs	-0,89	0,06	0,000	-1,06	-0,72
	ZPDH	0,05	0,05	0,599	-0,10	0,20

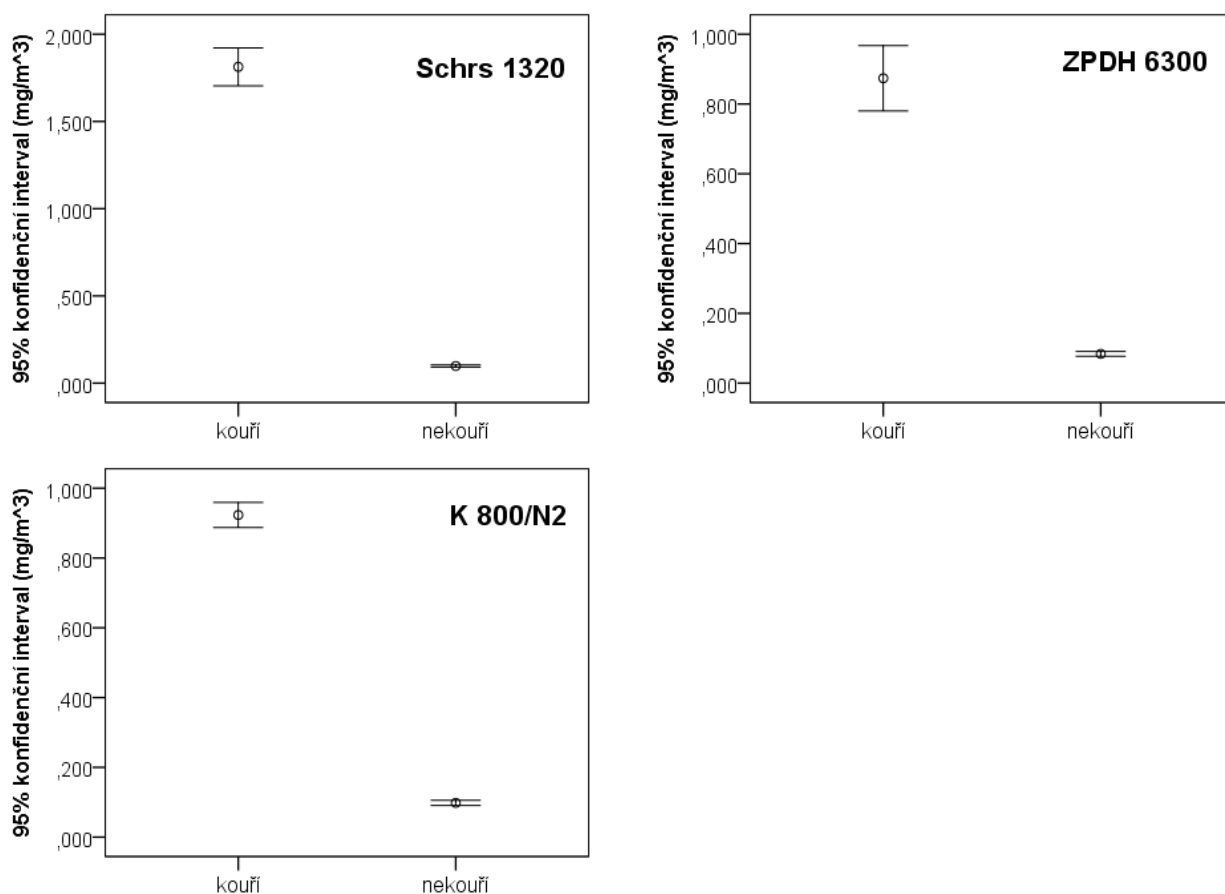
Na 99% hladině spolehlivosti mohou z výsledků testu ANOVA předpokládat, že události, při kterých si pracovníci zapálili cigaretu uvnitř kabiny řidiče, se alespoň na jednom z těžebních strojů významně liší. Z Games-Howellova testu vyplývá, že koncentrace PM_1 během kouření se na 1% hladině významnosti neliší v kabině řidiče ZPDH 6300 a v kabině řidiče K 800/N2, což znamená, že tento epizodický děj vykazuje shodu.



Obr. 13 95% konfidenční intervaly (mg/m^3) pro epizody: 1) střídání směn ráno, 2) střídání směn večer, 3) úklid ve venkovním prostředí, 4) úklid v kabině řidiče, 5) zapálení cigarety v kabině řidiče

9.2.1.2 Specifika kouření v kabině řidiče

Pro zjištění vlivu kouření na řidiče těžebních strojů byly porovnávány mezi sebou události, při kterých v kabině řidiče došlo k zapálení cigarety, a události, při kterých se v kabině nekouřilo. Už z grafického porovnání obou dějů pomocí 95% konfidenčních intervalů je zřejmé, že se koncentrace PM_{10} liší (obrázek 14). Pro vyjádření, o kolik se tyto dva děje liší, byla vyhledána konstanta, jejíž správnost byla testována dvouvýběrovým t-testem.



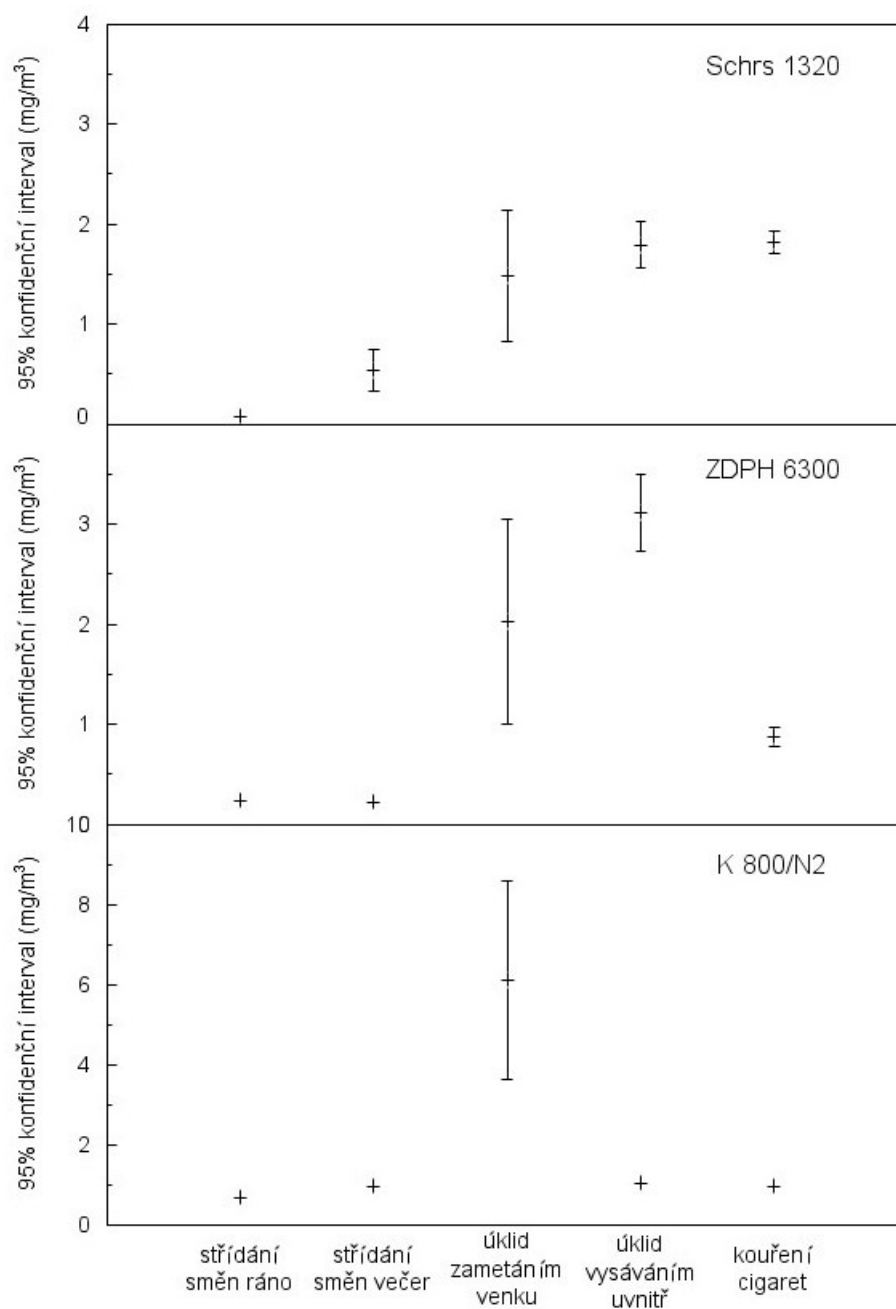
Obr. 14 95% konfidenční intervaly PM_{10} (mg/m³) pro kuřácké a nekuřácké události

Na základě výsledků dvouvýběrových t-testů mohu na 99% hladině spolehlivosti předpokládat, že koncentrace částic PM_{10} během kouření cigarety je v kabině řidiče Schrs 1320 šestnáctkrát až dvacetkrát vyšší, než když se v kabině nekouří. U ZPDH 6300 je tato událost devětkrát až čtrnáctkrát vyšší a u K 800/N2 je tato událost osmapůlkrát až desetkrát vyšší.

Největší počet kuřáků ve směně byl zaznamenán na K 800/N2, kde dva řidiči a jeden zástupce řidiče kouří. Na ZPDH 6300 žádný z řidičů kuřákem není, avšak jsou jimi tři zástupci řidiče. Ve směnách na Schrs 1320 se kuřáci příliš nevyskytují, nebyla tak vypořádána pravidelnost tohoto děje.

9.2.1.3 Porovnání epizodických jevů na jednotlivých pracovištích

Po identifikaci pracovních činností, kterými jsou střídání směn ráno, střídání směn večer, úklid ve venkovním prostředí ručním zametáním, úklid v kabině řidiče vysáváním a kouření v kabině řidiče, bylo žádoucí tyto děje porovnat mezi sebou v rámci každého pracoviště a prostřednictvím statistických analýz také určit příspěvek koncentrací PM_x každé epizody během pracovního týdne. Všechny zmíněné pracovní činnosti i kouření na jednotlivých pracovištích jsou znázorněny na obrázku 15.

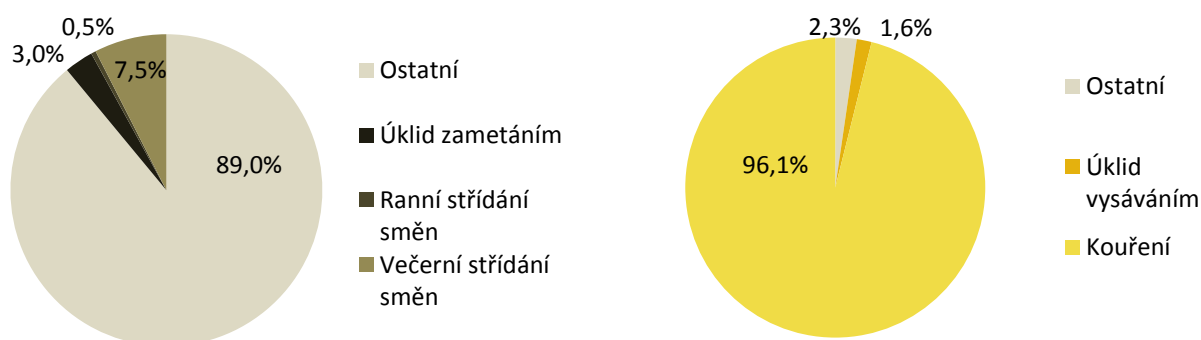


Obr. 15 Srovnání 95% konfidenčních intervalů (mg/m^3) všech epizodických jevů vysledovaných na těžebních strojích Schrs 1320, ZDPH 6300, K 800/N2

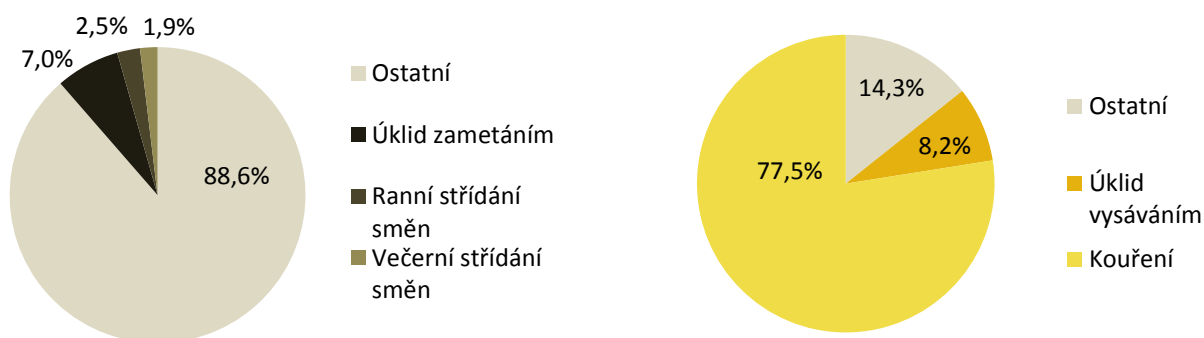
V kabině řidiče byly mezi sebou porovnávány pouze dva epizodické jevy – úklid vysáváním a kouření cigaret. Ve venkovním prostředí se hodnotily jevy střídání směn ráno, střídání směn večer a úklid ručním zametáním. U těch epizodických jevů, které jsou vzájemně velmi odlišné, se opět hledala konstanta, která by vyjadřovala, o kolik se epizodické jevy mezi sebou liší. Tyto konstanty byly získány jejich testováním pomocí analýzy rozptylu pro venkovní epizodické jevy a dvouvýběrovým t-testem u dějů v kabině řidiče.

Ve vnějším prostředí jednoznačně převažuje koncentrace PM_{10} na všech těžebních strojích při úklidu ručním zametáním. Tato pracovní činnost byla na Schrs 1320 dvanáctkrát až třicetkrát vyšší v porovnání s ranním střídáním směn a jednou až devětkrát vyšší než večerní střídání směn. Oproti tomu na základacím voze ZPDH 6300 se ranní i večerní střídání liší stejným poměrem, který je třikrát až dvanáctkrát nižší než pravidelný úklid. Stejně velký rozdíl najdeme i u večerního střídání směn na K 800/N2. Na tomto kolesovém rýpadle je nejvýznamnější rozdíl mezi ranním střídáním směn a pravidelným úklidem, při kterém jsou koncentrace PM_{10} minimálně pětkrát a maximálně patnáctkrát vyšší než při střídání směn. V kabině řidiče se na kolesových rýpadlech Schrs 1320 a K 800/N2 shodují oba epizodické jevy, neboli koncentrace PM_{10} při úklidu jsou stejné jako koncentrace PM_1 během kouření cigaret. Na ZPDH 6300 je však úklid vysáváním, prováděný vždy před koncem pracovní směny, nejvýznamnější ze všech typů pracovišť. Také je zde tato činnost třikrát až čtyřikrát výraznější, než když si pracovník v kabině zapálí cigaretu.

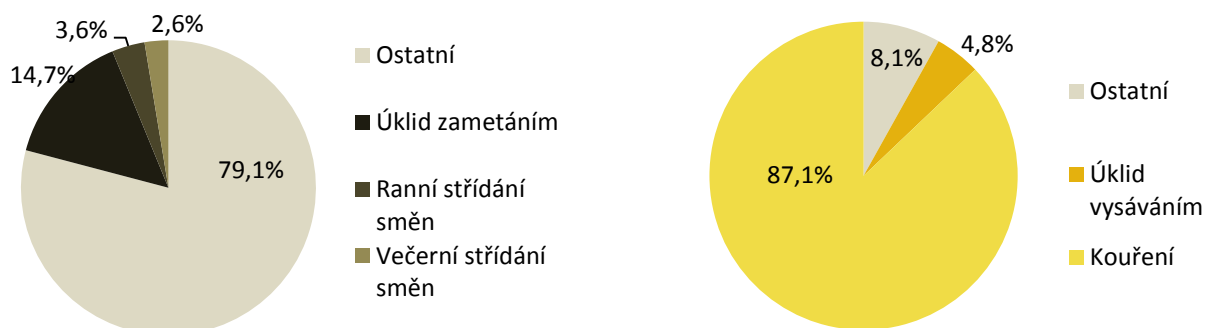
Dále byla vypočítávána průměrná expozice pracovníků pro konkrétní činnost zohledněná její délkou trvání ve dvanáctihodinových pracovních směnách. Expozice jednotlivých pracovních činností jsou samy o sobě téměř zanedbatelné vzhledem k jejich krátké (několikaminutové) době trvání vůči celkové pracovní době. Ovšem výsledek expozice způsobené kouřením dosahuje hodnoty u řidičů až 2,46 mg/12 hod, a je tedy významným příspěvkem, neboť osm hodin řízení těžebního stroje z kabiny tvoří 65 % celkové pracovní doby.



Obr. 16 Průměrné procentuální příspěvky PM_{10} pracovních činností a PM_1 kouřením na Schrs 1320 z hlediska dvanáctihodinové pracovní doby

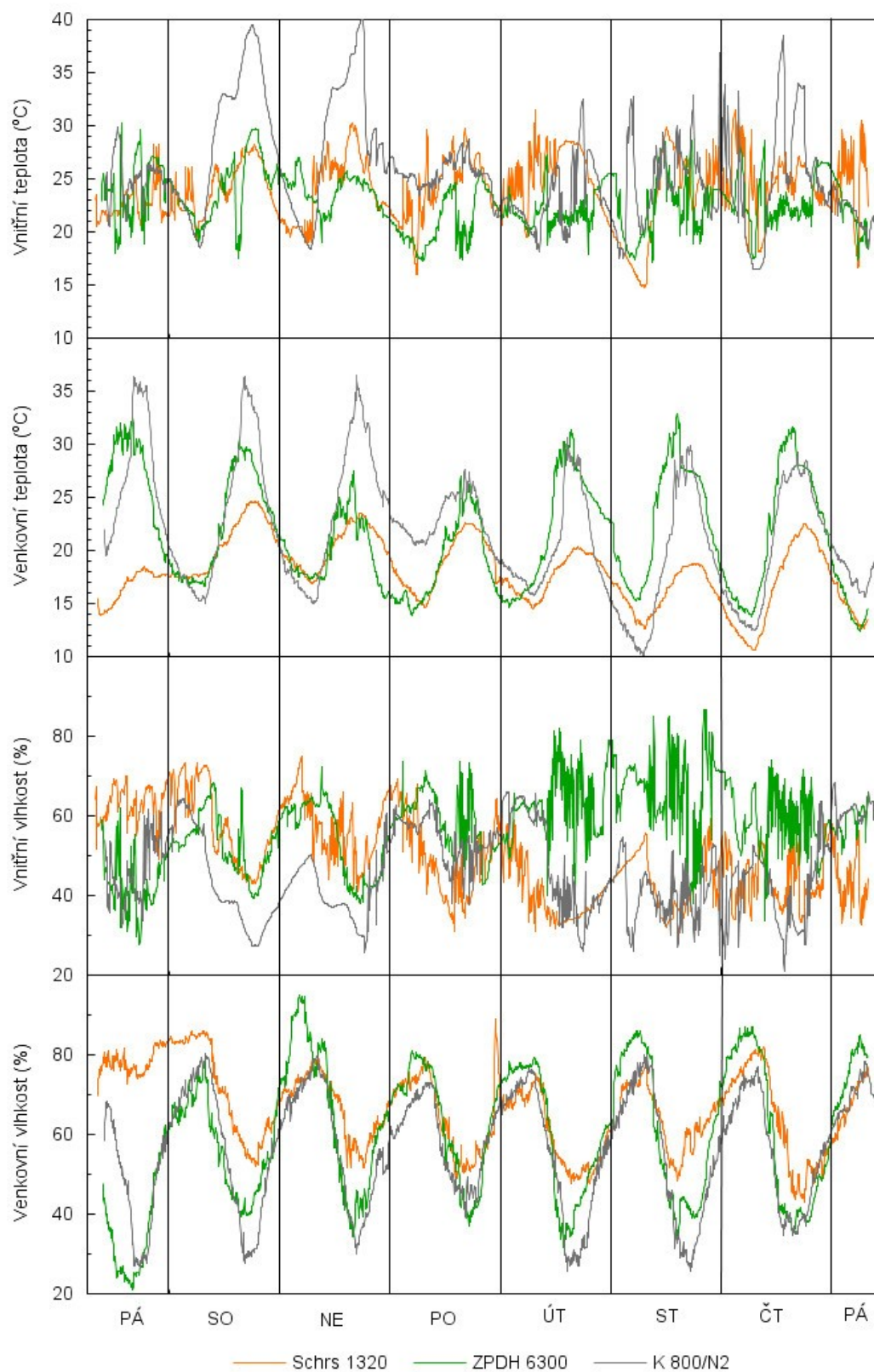


Obr. 17 Průměrné procentuální příspěvky PM₁₀ pracovních činností a PM₁ kouřením na ZPDH 6300 z hlediska dvanáctihodinové pracovní doby



Obr. 18 Průměrné procentuální příspěvky PM₁₀ pracovních činností a PM₁ kouřením na K 800/N2 z hlediska dvanáctihodinové pracovní doby

9.2.2 Průběh mikroklimatických podmínek a jejich srovnání



Obr. 19 Týdenní průběh teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu na Schrs 1320, ZPDH 6300, K 800/N2 ve vnitřním i venkovním prostředí

Na obrázku 19 lze pozorovat především výkyvy teploty vzduchu ve venkovním prostředí, proto byla teplota vzduchu porovnávána pomocí analýzy rozptylu mezi jednotlivými těžebními stroji na Schrs 1320, ZPDH 6300 a K 800/N2.

Tab. 12 Statistický test ANOVA testující průměrné venkovní teploty během tří týdnů měření na jednotlivých těžebních strojích

	suma čtverců	stupně volnosti	průměr čtverců	F hodnota	signifikance
mezi skupinami	17713,15	2	8856,57	377,09	0,000
uvnitř skupin	141294,15	6016	23,47		
celkem	159007,29	6018			

Tab. 13 Vícenásobné porovnání pomocí Games-Howellova testu srovnávající venkovní teplotu vzduchu mezi všemi těžebními stroji

(I) týden	(J) týden	průměrný rozdíl (I-J)	směrodatná odchylka	signifikance	99% konfidenční interval	
					dolní mez	horní mez
Schrs	ZPDH	-3,52	0,13	0,000	-3,9	-3,13
	K 800	-3,74	0,15	0,000	-4,17	-3,32
ZPDH	Schrs	3,52	0,13	0,000	3,13	3,91
	K 800	-0,23	0,17	0,400	-0,74	0,28
K 800	Schrs	3,74	0,15	0,000	3,32	4,17
	ZPDH	0,23	0,17	0,400	-0,28	0,74

Teplota vzduchu ve venkovním prostředí se na 99% hladině spolehlivosti v průběhu tří týdnů měnila, jak ukazují výsledky analýzy rozptylu. Z Games-Howellova testu vyplývá, že se venkovní teplota vzduchu lišila během prvního týdne měření na Schrs 1320 a v následujících dvou týdnech se už neměnila. Nicméně vyšetřováním těsnosti lineárního vztahu Pearsonovým korelačním koeficientem vyplynulo, že teplota vzduchu ani vlhkost vzduchu nemají na koncentrace částic takový vliv.

Tab. 14 Pearsonův korelační koeficient vyšetřující těsnost lineárního vztahu koncentrace PM₁₀, teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu ve venkovním prostředí na Schrs 1320

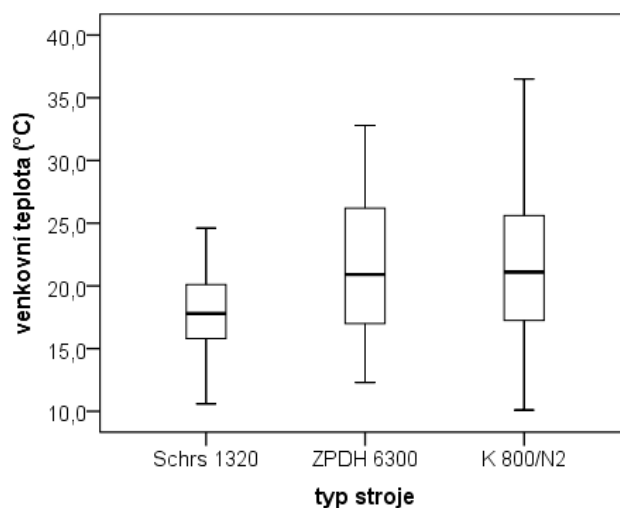
		Koncentrace	Teplota	Vlhkost
Pearsonův korelační koeficient	Koncentrace	1,00	0,26	-0,16
	Teplota	0,26	1,00	-0,61
	Vlhkost	-0,16	-0,61	1,00
signifikance	Koncentrace	.	0,00	0,00
	Teplota	0,00	.	0,00
	Vlhkost	0,00	0,00	.

Tab. 15 Pearsonův korelační koeficient vyšetřující těsnost lineárního vztahu koncentrace PM₁₀, teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu ve venkovním prostředí na ZPDH 6300

		Koncentrace	Teplota	Vlhkost
Pearsonův korelační koeficient	Koncentrace	1,00	0,09	-0,07
	Teplota	0,09	1,00	-0,91
	Vlhkost	-0,07	-0,91	1,00
signifikance	Koncentrace	.	0,00	0,01
	Teplota	0,00	.	0,00
	Vlhkost	0,00	0,00	.

Tab. 16 Pearsonův korelační koeficient vyšetřující těsnost lineárního vztahu koncentrace PM₁₀, teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu ve venkovním prostředí na K 800/N2

		Koncentrace	Teplota	Vlhkost
Pearsonův korelační koeficient	Koncentrace	1,00	0,06	-0,04
	Teplota	0,06	1,00	-0,88
	Vlhkost	-0,04	-0,88	1,00
signifikance	Koncentrace	.	0,01	0,03
	Teplota	0,01	.	0,00
	Vlhkost	0,03	0,00	.



Obr. 20 Box-plot týdenních venkovních teplot vzduchu na jednotlivých těžebních strojích

9.2.3 Výsledky ze standardní gravimetrie a PCIS dle US EPA

Z vyvážky a objemu proteklého vzduchu byla pro každou metodu spočítána koncentrace částic na pracovištích Schrs 1320, ZPDH 6300 a K 800/N2, které jsou uvedeny v tabulce 17 pro PCIS a v tabulce 18 pro standardní gravimetrickou analýzu.

Tab. 17 Koncentrace jednotlivých frakcí ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) zjištěná pomocí PCIS na třech těžebních strojích. Rozšířená kombinovaná nejistota měření je 5,7 %

	Schrs 1320	ZPDH 6300	K 800/N2
Velikost částic (μm)	Koncentrace ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	Koncentrace ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	Koncentrace ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)
> 2,5	0,015	0,157	0,103
2,5 - 1	0,001	0,043	0,033
1 - 0,5	0,008	0,015	0,010
0,5 - 0,25	0,001	0,002	0,017
< 0,25	0,023	0,025	0,083
Celkem	0,048	0,242	0,246
95% konfidenční interval	$0,048 \pm 0,003$	$0,242 \pm 0,014$	$0,246 \pm 0,014$

Tab. 18 Celková koncentrace částic ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) zjištěná standardní gravimetrickou metodou na třech těžebních strojích. Rozšířená kombinovaná nejistota měření je 11 %

	Schrs 1320	ZPDH 6300	K 800/N2
Velikost částic (μm)	Koncentrace ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	Koncentrace ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	Koncentrace ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)
TOTAL	1,08	0,84	0,77
95% konfidenční interval	$1,08 \pm 0,12$	$0,84 \pm 0,09$	$0,77 \pm 0,08$

Tento druh měření byl proveden na každém těžebním stroji pouze během jedné pracovní směny (vždy v první měřicí den), proto byla zjišťována reprezentativnost posuzované směny. Games-Howellovým testem byly mezi sebou porovnávány všechny denní směny v časovém rozmezí od 8:00 do 16:00 na Schrs 1320, od 9:20 do 16:15 na ZPDH 6300 a od 10:00 do 16:15 na K 800/N2. Z hodnocení byly opět vyloučeny ty denní směny, ve kterých neprobíhala těžba. Jedná se o dvě směny na Schrs 1320 a dvě směny na K 800/N2.

Tab. 19 Games-Howellův test pro porovnání páteční denní směny s ostatními denními směny na Schrs 1320 v časovém rozmezí od 8:00 do 16:00

(I) den	(J) den	průměrný rozdíl (I-J)	směrodatná odchylka	signifikance	99% konfidenční interval	
					dolní mez	horní mez
PÁ	SO	2,29	0,08	0,000	2,03	2,56
	NE	2,29	0,08	0,000	2,03	2,55
	PO	2,33	0,08	0,000	2,06	2,60
	ČT	2,27	0,08	0,000	2,01	2,54

Z výsledků Games-Howellova testu na 99% hladině spolehlivosti vyplývá, že se páteční denní směna, během které se uskutečnilo měření standardní gravimetrie a PCIS na kolesovém rýpadle Schrs 1320, lišila od ostatních denních směn v týdnu od 12. 8. do 19. 8.

Tab. 20 Games-Howellův test pro porovnání páteční denní směny s ostatními denními směny na ZPHD 6300 v časovém rozmezí od 9:20 do 16:15

(I) den	(J) den	průměrný rozdíl (I-J)	směrodatná odchylka	signifikance	99% konfidenční interval	
					dolní mez	horní mez
PÁ	SO	0,06	0,02	0,025	-0,01	0,13
	NE	0,05	0,02	0,240	-0,02	0,12
	PO	-0,23	0,03	0,000	-0,34	-0,12
	ÚT	0,06	0,02	0,088	-0,02	0,13
	ST	0,09	0,02	0,000	0,02	0,16
	ČT	-0,24	0,04	0,000	-0,37	-0,11

Z Games-Howellova testu na 99% hladině spolehlivosti vyplývá, že páteční denní směna byla shodná se sobotní, nedělní a úterní denní směnou na ZPDH 6300. Naopak se páteční směna lišila od pondělní, středeční a také čtvrteční denní směny.

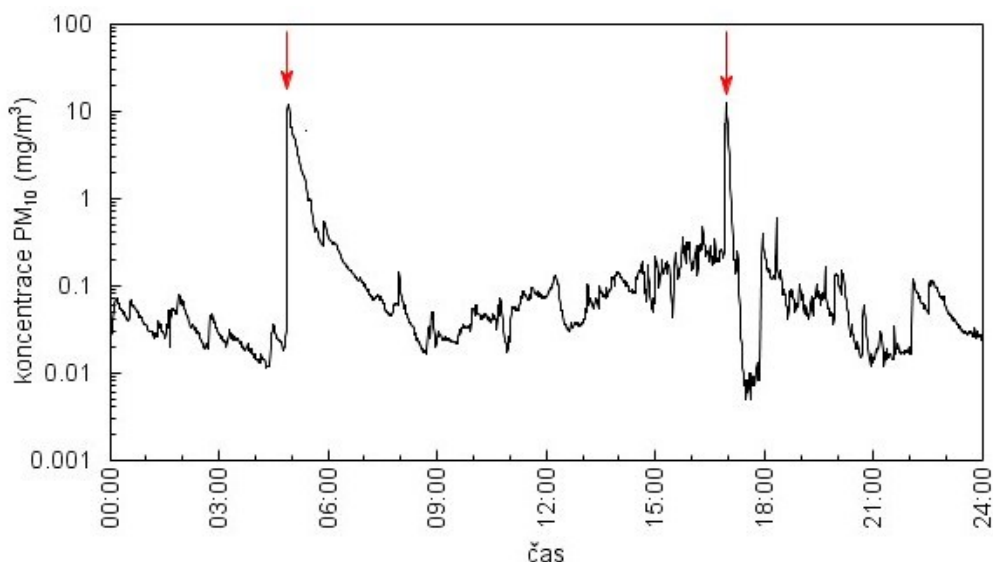
Tab. 21 Games-Howellův test pro porovnání páteční denní směny s ostatními denními směny na K 800/N2 v časovém rozmezí od 10:00 do 16:15

(I) den	(J) den	průměrný rozdíl (I-J)	směrodatná odchylka	signifikance	99% konfidenční interval	
					dolní mez	horní mez
PÁ	PO	-0,24	0,05	0,000	-0,39	-0,08
	ÚT	0,10	0,03	0,015	-0,01	0,19
	ST	0,17	0,03	0,000	0,08	0,25
	ČT	0,28	0,03	0,000	0,19	0,36

Z výsledků Games-Howellova testu vyplývá na 99% hladině spolehlivosti, že páteční denní směna se lišila od ostatních denních směn v měřeném týdnu od 26. 8., kromě středeční směny.

10 Diskuze

Z důvodu hořlavosti a výbušnosti uhelného prachu jsou pracoviště uhelného lomu i skrývkového řezu řazena mezi riziková pracoviště (Abbasi, T. a Abbasi S. A., 2007). Pro snižování rizika exploze se v rámci celého areálu lomu aplikují různá protiprašná opatření. Komunikace kopírující dálkovou pásovou dopravu se zkrápějí vodou. Na jednotlivých těžebních strojích se pro eliminaci výbuchu provádějí pravidelné úklidy ručním zametáním, vysáváním či zkrápěním proudem vody především v těch úsecích, kde dochází k přesypu vytěženého materiálu (Integrovaná prevence, [online]). Na základě této skutečnosti byly periodické události, v podobě úklidu ve venkovním i vnitřním prostředí, nalezeny v týdenních koncentracích. Vzhledem ke zvýšenému riziku exploze je na pracovišti také zakázáno kouřit. K zapálení cigarety jsou vyhrazena na každém těžebním stroji pouze dvě uzavřená místa, kterými jsou kabina řidiče a místnost pro odpočinek. Proto z týdenních koncentrací byly jako další epizodické jevy vybrány časové úseky, při kterých došlo k zapálení cigarety. Již v bakalářské práci (Basslerová, 2015) byly pozorovány i události, při kterých došlo k zastavení těžby z důvodu střídání směn, což se projevilo poklesem koncentrací částic PM_{10} . Následné znovuzahájení bylo doprovázeno naopak výrazným nárůstem koncentrací těchto částic jak ve venkovním, tak ve vnitřním prostředí. Během měření v DNT v roce 2016 ovšem byla tato událost zaznamenána pouze v prostředí venkovním, a byla tak vybrána jako další epizodický děj s ohledem na ranní i večerní střídání.



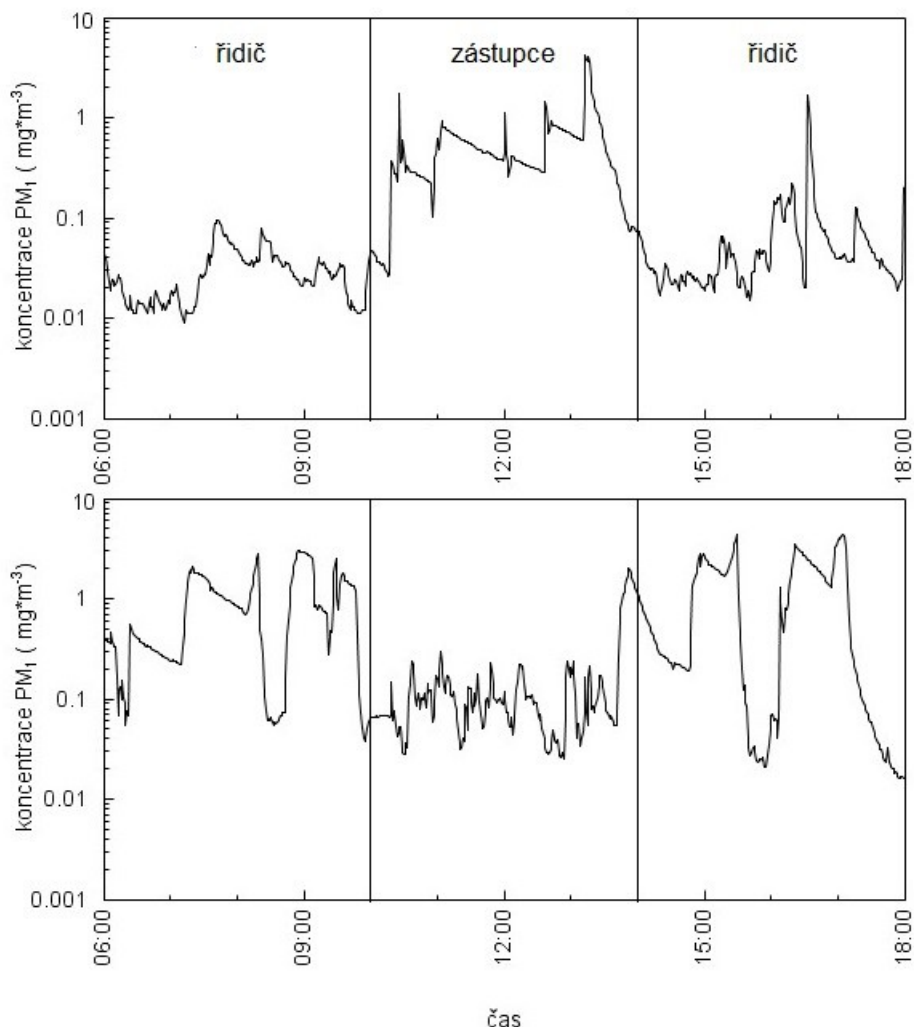
Obr. 21 Koncentrace PM_{10} ($mg \cdot m^{-3}$) v kabině řidiče ze dne 21. 8. 2016 na ZPDH 6300. Červené šipky znázorňují úklid vysáváním.

V kabině řidiče se během dne vyskytují pouze dva typy aktivit, které významně ovlivňují koncentraci částic. Jedním z těchto pravidelně se opakujících dějů je úklid vysáváním, který se provádí vždy před koncem pracovní směny. Průměrné koncentrace během této činnosti se na všech třech těžebních strojích liší. Na ZPDH 6300 koncentrace částic PM_{10} maximálně vystoupají během úklidu na $21,70 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ a minimálně na $4,30 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Na Schrs 1320 jsou maximální koncentrace pouze $6,43 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ a minimální $2,20 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejméně výrazná je tato činnost na K 800/N2 s maximální koncentrací PM_{10} $5,77 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ a minimální $1,4 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. V kabině řidiče stroje K 800/N2 jsou zmíněné události i nejhůře rozpoznatelné, jelikož zde často dochází k výkyvům koncentrací PM_{10} nezjištěného původu. Typický průběh koncentrací PM_{10} při úklidu v kabině řidiče ZPDH 6300 je znázorněn na obrázku 21.

Dalším epizodickým jevem vyskytujícím se v kabině řidiče je kouření. Cigaretový kouř je zdrojem jemných a ultrajemných částic, čímž významně ovlivňuje kvalitu ovzduší vnitřních prostor a ohrožuje i přítomné nekuřáky (Hrubá a Peřina, 2016). Události, při kterých dochází k zapálení cigarety, jsou snadno rozpoznatelné díky charakteristickému tvaru píků a jejich časovým ohraničením v souvislosti s výměnou řidičů po čtyřech hodinách (obrázek 22). Děje jsou totožné na základním voze ZPDH 6300 a kolesovém rýpadle K 800/N2 s průměrnou koncentrací částic PM_1 $0,87 \pm 1,33 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ a $0,92 \pm 0,91 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. V kabině Schrs 1320 je však tento děj odlišný, jelikož koncentrace PM_1 vystoupají během kouření až na $12,4 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, což je zhruba dvouapůlnásobek maximálních koncentrací než u předchozích dvou pracovišť. Podle německé studie Schulze *et al.* (2016), ve které autoři napodobovali po dobu 5 min kouření přístrojem AETSE (Automatic environmental tobacco smoke emitter), dosahují průměrné koncentrace $PM_{2,5}$ po uhašení cigarety necelých $4000 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Upozorňují ovšem na signifikantní rozdíly v koncentraci částic $PM_{2,5}$ v závislosti na druhu cigarety. V případě cigaret, které nemají filtr, jsou paradoxně průměrné koncentrace $PM_{2,5}$ nižší – okolo $2050 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Wasel *et al.* (2015) porovnává stejnou metodikou mezi sebou cigarety bez aditiv, cigarety tvrdé (červené), cigarety lehké (modré) a doutníky. Nejvyšší průměrné koncentrace částic $PM_{2,5}$ $750 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ byly nalezeny u doutníků. U tvrdých cigaret a cigaret bez aditiv byly koncentrace mezi 550 až $580 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a nejmenší průměrné koncentrace byly zjištěny u lehkých cigaret $450 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Z výsledků zmíněných studií je zřejmé, že se koncentrace jemných částic liší v závislosti na prodejní značce cigaret, na druhu tabáku a přítomnosti filtrů. Ačkoliv nebyly zjištěny skutečné druhy cigaret u kuřáckých pracovníků, můžeme předpokládat, že právě kouření jiného typu cigaret na Schrs 1320 mělo za následek odlišné výsledky v porovnání s ostatními pracovišti.

Při porovnání epizodického jevu kouření mezi měřením v rámci bakalářské práce (Basslerová, 2015) na kolesovém rýpadle K 800/N2 a měřením v rámci diplomové práce na též stroji bylo zjištěno, že je rozdíl výběrových průměrů na 99% hladině spolehlivosti

statisticky významný, přičemž počet kuřáckých směn se nezměnil (tab. 22). Vzhledem k odlišnému období měření (březen 2015 a srpen až září 2016) lze předpokládat, že právě roční doba bude mít na tento rozdíl hlavní vliv. Můžeme totiž předpokládat, že pracovníci v březnu měli spíše zavřené dveře než pracovníci v srpnu.



Obr. 22 Koncentrace PM₁ v kabině řidiče během pondělních denních směn na pracovištích ZPDH 6300 (nahore) a K 800/N2 (dole) znázorňující přítomnost kuřáků. Na základacím voze ZPDH 6300 je zástupce řidiče kuřákem a na rýpadle K 800/N2 je kuřákem řidič.

Při porovnávání hrubé a jemné frakce mezi vnitřním a venkovním prostředím se nepotvrdil předpoklad o jasné převaze hrubých částic venku, a to u základacího stroje ZPDH 6300. Ani očekávané podložené výsledky z měření na kolesovém rýpadle K 800/N2 v rámci bakalářské práce (Basslerová, 2015) o převaze jemných částic uvnitř kabiny řidiče se na všech těžebních strojích nepotvrdilo. Vzhledem k tomu, že ve venkovním prostředí není zdroj jemných částic, je možným vysvětlením opět otevření dveří do kabiny.

Tab. 22 Dvouvýběrový t-test pro porovnání koncentrace PM_{10} při kouření na kolesovém rýpadle K 800/N2 během měření v roce 2015 a 2016

	Leveneho test o shodě rozptylů		Dvouvýběrový t-test						
	F hodnota	signifikance	t	stupně volnosti	signifikance (oboustranná)	průměrný rozdíl	rozdílný směrodatná odchylka	99% konfidenční interval	
								dolní mez	horní mez
Koncentrace (mg/m^3)	Předpoklad shodných rozptylů	198,24	0,000	-14,4	6539	0,000	-0,30	0,02	-0,35 -0,24
	Předpoklad neshodných rozptylů			-13,7	4414,86	0,000	-0,30	0,02	-0,35 -0,24

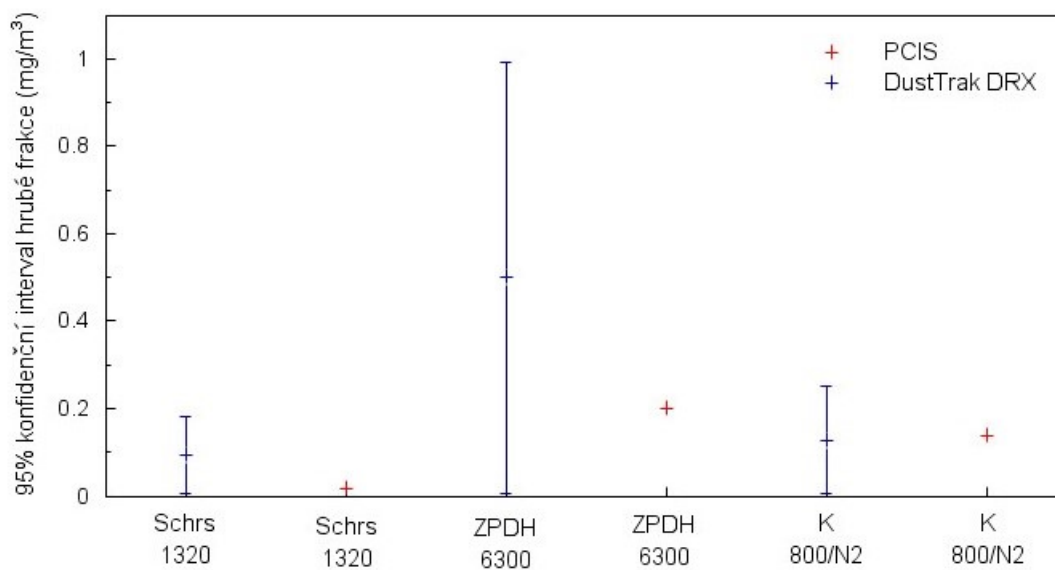
Pokorná *et al.* (2016) zjistila při měření v hnědouhelném lomu Vršany, že PM_{10} je ze 70 % tvořen hrubým aerosolem a průměrné koncentrace uvnitř lomu se pohybují okolo $119 \pm 59 \mu g \cdot m^{-3}$. V porovnání s koncentracemi PM_{10} naměřenými přímo na těžebních strojích, které byly $0,71 \pm 1,08 mg \cdot m^{-3}$ na Schrs 1320, $0,31 \pm 0,35 mg \cdot m^{-3}$ na ZPDH 6300 a $0,86 \pm 0,53 mg \cdot m^{-3}$ na K 800/N2, jsou koncentrace z lomu Vršany podstatně menší. Vyšší průměrné koncentrace PM_{10} při měření v DNT jsou dány bezprostřední blízkostí hlavních zdrojů, kterými jsou kolesová rýpadla a základací vůz.

Kritická analýza dat naznačila, že naměřené hodnoty z DustTraku DRX č. 1 umístěného ve venkovním prostředí každého těžebního stroje jsou pravděpodobně nadhodnoceny. Ačkoliv je přístroj vhodný pro měření pracovního prostředí a zároveň byl před každým měřením dle instrukcí vyčištěn (TSI, 2017), zřejmě došlo ve druhém týdnu měření k jeho výraznému zatížení, což může být příčinou zkreslení naměřených hodnot.

Metody gravimetrických stanovení vykazují výrazně odlišné hodnoty i přesto, že měření standardní metodou a metodou za využití PCIS proběhlo za stejných podmínek (paralelně, ve stejné výšce). Naší legislativou doporučená metoda stanovení celkové koncentrace polévatého prachu ve všech případech vyšla vyšší. Pokud vyloučíme první měření na Schrs 1320, kde je podezření na narušení sestavy čerpadlo, hadice, impaktor, výsledky standardní gravimetrie vycházejí třikrát až triapůlkrát vyšší než u metody s PCIS.

Při porovnání koncentrací hrubé frakce změřené PCIS a DustTrak DRX (obrázek 23) se zjistilo, že jejich 95% konfidenční intervaly se překrývají, tedy obě metody se v této frakci

shodují, z čehož vyplývá, že správnost standardní metody dle Nařízení vlády 361/2007 Sb. pro měření koncentrací na pracovišti je diskutabilní.



Obr. 23 Porovnání 95% konfidenčních intervalů hrubé frakce ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) z DustTraku DRX a PCIS ze dne 12. 8. na Schrs 1320, 19. 8. na ZPDH 6300 a 26. 8. na K 800/N2

Pro přesné odhalení příčiny rozdílů v koncentracích naměřených standardní gravimetrií a PCIS lze doporučit u standardní gravimetrie použití odběrové hlavice pro respirabilní prach, která je v současnosti používána pouze pro prach z černého uhlí (Nařízení vlády 361/2007 Sb.), a dále lze doporučit, aby měření byla rozdělena do časových úseků podle doby trvání samotných pracovních úloh a výsledná koncentrace vypočítána jako časově vážený průměr, jak i popisují Volkwein *et al.* (2011). Celosměnová měření jsou vystavena riziku nežádoucí manipulace s přístroji přítomnými pracovníky, neboť od výsledku se odvíjí případné příplatky za zhoršené pracovní podmínky.

11 Závěr

Experimentálním měřením bylo zjištěno, že koncentrace částic PM_x na Schrs 1320, ZPDH 6300 a K 800/N2 jsou proměnlivé v čase a závislé na konkrétní prováděné pracovní činnosti i typu těžebního stroje. Pracovníci obsluhující tyto těžební stroje jsou tak během pracovního výkonu vystaveni hrubým i jemným aerosolovým částicím, jejichž původ se liší a také jejich koncentrace v průběhu pracovního dne značně kolísá.

- a) Pracoviště uhelného lomu a skrývkového řezu jsou zcela unikátní s ohledem na vzniklé koncentrace částic PM_{10} při konkrétních prováděných pracovních činnostech. Vzhledem k tomu, že pracovní režim (střídání směn v 6:00 a 18:00 hodin a pravidelnost úklidu ve vnějším i vnitřním prostředí) je na všech třech těžebních strojích velmi podobný, je příčinou rozdílu koncentrací PM_{10} zejména druh těženého materiálu. Nejvyšší koncentrace PM_{10} ve vnějším prostředí jsou jednoznačně na kolesovém rýpadle K 800/N2 určeném pro těžbu uhlí. Pracoviště Schrs 1320 a ZPDH 6300, která se obě nacházejí na skrývce a pracují s nadložní vrstvou zeminy, se vzájemně také liší, i když ne tak významně. Z toho lze usuzovat, že na koncentrace částic PM_{10} ve venkovním prostředí má také vliv typ a charakter těžebního stroje.
- b) Pracovní činnosti, zejména pak úklid ručním zametáním v úsecích přesypů a úklid vysáváním uvnitř kabiny řidiče, krátkodobě výrazně zvyšují průměrné koncentrace částic PM_{10} v obou typech prostředí (vnitřním i vnějším). Avšak z hlediska jejich doby expozice na pracovníky v rámci dvanáctihodinových pracovních směn už takový význam nemají.
- c) Dlouhodobé expozice cigaretovým kouřem, které mohou tvořit více než 65 % z celkové dvanáctihodinové směny pracovníka, představují největší riziko. Koncentrace PM_{10} , rostoucí od okamžiku zapálení cigarety, jsou různé a mohou záviset na druhu tabáku a filtru cigaret (viz. také Schulz, 2016; Wasel, 2015).
- d) Metoda gravimetrického stanovení celkové koncentrace na pracovišti určená Nařízením vlády č. 361/2007 Sb. je s ohledem na odlišnost výsledků PCIS, metodou určenou US EPA, vyhodnocena jako nesprávná a tedy i nevhodná. Jejím hlavním limitem v porovnání s PCIS je nediferencovanost velikosti částic, čímž nelze rozeznat původ zjištěných koncentrací.

Možné směry navazujícího výzkumu nastíněné během zpracování této práce:

- Výzkum pracovního prostředí oběma metodami byl proveden v rámci tří samostatných měření. Pro posouzení objektivity každé metody se nabízí dlouhodobější výzkum s větším počtem měření.

- Zpřesnit výsledky gravimetrických stanovení celkové koncentrace polétavého prachu lze rozdělením celkové pracovní doby do jednotlivých časových úseků (úloh) a pro každou úlohu změřit odpovídající koncentraci.
- Pro správnost výsledků gravimetrickou metodou je vhodné doporučit stálý dohled měřící osoby nad odběrem vzorku z důvodu nežádoucí manipulace s odběrovou hlavicí.

Literatura

Abbasi, T., Abbasi S. A. (2007). Dust explosions—Cases, causes, consequences, and control. *Journal of Hazardous Materials* 140: 7 - 44

Aneja, V. P., Isherwood, A., Morgan, P. (2012). Characterization of particulate matter (PM₁₀) related to surface coal mining operations in Appalachia. *Atmospheric Environment* 54: 496 - 501

Baron, P., Kulkarni, P., A., Willeke, K., (2011). Aerosol Measurement, Principles Techniques and Applications. Třetí vydání. New Jersey, J. Wiley&Sons. 865 s. ISBN: 978-0-470-38741-2

Basslerová, B. (2015). Experimentální stanovení personální expozice PM₁₀ na vybraných pracovištích povrchového lomu na hnědé uhlí. Bakalářská práce. Ústav pro životní prostředí Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha. 43 s.

Brouwer, D. H., Gijsbers, J. H. J., Lurvink, M. W. M. (2004). Personal Exposure to Ultrafine Particles in the Workplace: Exploring Sampling Techniques and Strategies. *The Annals of Occupational Hygiene* 48: 439 - 453

Burnett, R. T., Smith-Doiron, M., Stieb, D., Cakmak, S., Brook, J. R. (1999). Effects of particulate and gaseous air pollution on cardiorespiratory hospitalizations. *Archives of Environmental Health* 54: 130 – 139.

Cantrell, B. K., Volkwein, J. C. (2001). Mine Aerosol Measurement, In: Baron, P. A., Willeke, K., Aerosol Measurement, Principles Techniques and Applications. Druhé vydání. New York, J. Wiley&Sons. 1131 s. ISBN: 0471356360

Volkwein, J. C., Maynard, A. D., Harper, M. (2011). Workplace Aerosol Measurement, In: Kulkarni, P., Baron, P. A., Willeke, K. Aerosol Measurement, Principles Techniques and Applications. Třetí vydání. New York, J. Wiley&Sons. 904 s. ISBN: 9780470387412

Cowherd, D. (1982). Fugitive Emission Factor Update for AP-42 Final Report. US Environmental Protection Agency, Industrial Research Laboratory, Research Triangle Park, NC.

ČSN EN 481. Ovzduší na pracovišti. Vymezení velikostních frakcí pro měření poletavého prachu. 1994. Třídící znak 83 3621

Dockery, D. W., Pope, C. A. (1994). Acute Respiratory Effects of Particulate Air Pollution. *Annual Review of Public Health* 15: 107 - 132

Filingr, P. (2015). Milníky na úseku Skřívky 2015. In: Klvaňa, M., Janota, J., Vašková, P., Kasperová, M., Kopecká, M. I. (Ed.), Doly Nástup Tušimice, ročenka 2015. První vydání. Chomutov, Akord. 170 s.

Gautam, S., Prusty K. B., Patra K. A. (2012). Pollution Due to Particulate Matter from Mining Activities. *Reciklaža i održivi razvoj* 5: 54 – 55

Ghose, M. K., Majee, S. R. (2000). Assessment of dust generation due to opencast coalmining – an Indian case study. *Environ. Monit. Assess* 67: 255–256.

Ghose, M. K., Majee, S. R. (2001). Air Pollution due to Opencast Coal Mining and It's Control in Indian Context. *Jurnal os Scientific & Industrial Research* 60: 786 - 797

Ghose, M. K., Majee, S. R. (2007). Characteristics of hazardous airborne dust around an Indian surface coal mining area. *Environmental Monitoring and Assessment* 130: 17 - 25

Ghose, M. K. (2007). Generation and Quantification of Hazardous Dusts from Coal Mining in the Indian Context. *Environmental Monitoring and Assessment* 130: 35–45.

Hinds C. W. (1999). Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles. Druhé vydání. New York, J. Wiley&Sons. 1326 s. ISBN: 978-0-471-19410-1

Hovorka, J. (2009). Atmosférický aerosol. Definice a formy atmosférického aerosolu. In: Braniš, M., Hůnová, I. (Ed.), Atmosféra a klima aktuální otázky ochrany ovzduší. První vydání. Praha, Karolinum. 352 s. ISBN: 978-80-246-1598-1

Hrdličková, Z., Michálek, J., Kolář., M, Veselý, V. (2008). Identification of factors affecting air pollution by dust aerosol PM₁₀ in Brno City, Czech Republic. *Atmospheric Environment* 42: 8661 - 8673

Hrubá, D., Peřina, A. (2016). Kouření jako zdroj jemných a ultrajemných prachových částic. *Hygiena* 61: 19 - 23

Chakraborty, M. K., Ahmad, M., Singh, R. S., Pal, D., Bandopadhyay, C., Chaulya, S. K. (2002). Determination of the emission rate from various opencast mining operations. *Environmental Modelling & Software* 17: 467 – 480

Love, R. G., Miller, B. G., Groat, S. K., Hagen, S., Cowie, H. A., Johnston, P. P., Hutchison, P. A., Soutar, C. A. (1997). Respiratory health effects of opencast coalmining: a cross sectional study of current workers. *Occupational and Environmental Medicine* 54: 416 - 423

McGrath, J. A., Sheahan, J. N., Dimitroulopoulou, C., Ashmore, M. R., Terry, A. C., Byrne, M. A. (2017). PM exposure variations due to different time activity profile simulations within a single dwelling. *Building and Environment* 10.1016: 1 - 32

Monn, Ch. (2001). Exposure assessment of air pollutants: a review on spatial heterogeneity and indoor/outdoor/personal exposure to suspended particulate matter, nitrogen dioxide and ozone. *Atmospheric Environment* 35: 1 - 32

Nařízení vlády 361 ze dne 12. prosince 2007, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. In: *Sbírka zákonů*. 28. prosince 2007, částka 111. Příloha č. 3: *Prach, hygienické limity a postup jejich stanovení*: 5086 - 5236

NRC (1991). Human Exposure to Airborne Pollutant. První vydání. Washington, D.C., National Academy Press. 344 s. ISBN: 0-309-54353-3

Onder, M., Yigit, E. (2009). Assessment of respirable dust exposures in an opencast coal mine. *Environmental Monitoring and Assessment* 152: 393 – 401

Ott, W. R. (1982). Concepts of human exposure to air pollution. *Environmental International* 7: 179 – 196

Patra, A. K., Gautam, S., Kumar, P (2016). Emissions and human health impact of particulate matter from surface mining operation - A review. *Environmental Technology & Innovation* 5: 233 - 249

Peters, A., von Klot, S., Heier, M., Trentinaglia, I., Hörmann, A., Wichmann, H. E., Löwel, H. (2004). Exposure to traffic and the onset of myocardial infarction. *The New England Journal of Medicine* 351: 1721 - 1730

Polichetti, G., Cocco, S., Spinali, A., Trimarco, V., Nunziata, A. (2009). Effects of particulate matter (PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁) on the cardiovascular system. *Toxikology* 261: 1 – 8

Pokorná, P., Hovorka, J., Brejcha, J. (2016). Impact of Mining Activities on the Air Quality in The Village Nearby a Coal Strip Mine. *Earth and Environmental Science* 44: 1 - 5

Rout, T. K., Masto, R. E., Padhy, P. K., George, J., Ram, L. Ch., Maity, S. (2014). Dust fall and elemental flux in a coal mining area. *Journal of Geochemical Exploration* 144: 443 - 455

Severočeské doly a. s. (2011). Stabilita v dynamice. 39 s.

Schulz, M., Gerber, A., Groneberg, D. A. (2016). Are Filter-Tipped Cigarettes Still Less Harmful than Non-Filter Cigarettes? - A Laser Spectrometric Particulate Matter Analysis from the Non-Smokers Point of View. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 13: 429 - 440

Skupina Severočeské doly (2013). Výroční zpráva Vaše energie. Praha, B. I. G. 2014. 160 s.

Singh, M., Misra, Ch., Sioutas, C. (2003). Field evaluation of a personal cascade impaktor sampler (PCIS). *Atmospheric Environment* 37: 4781 – 4793

Squizzato, S., Masiol, M., Agostini, Ch., Visin, F., Formenton, G., Harrison, R. M., Rampazzo, G (2016). Factors, origin and sources affecting PM₁ concentrations and composition at an urban background site. *Atmospheric Research* 180: 262 - 273

Swoboda, H. (1977). Moderní statistika. První vydání. Praha, Nakladatelství Svoboda. 351 s.

Šefl, J. (2010). Funkce lesa a rekultivace. Ústí nad Labem. 90 s.

TSI (2017). Operation and Service Manual for DustTrak DRX Aerosol Monitor model 8533.

USEPA (1995). User's Guide for the Fugitive Dust Model (FDM), První vydání. Seattle

Vrba, T. (2015). 70 let Prodeco. *Hornické listy* 4: 4 – 48

Vyhláška ministerstva zdravotnictví České republiky č. 432/2003 Sb. ze dne 4. prosince 2003, kterou se stanoví podmínky pro zařazování prací do kategorií, limitní hodnoty ukazatelů biologických expozičních testů, podmínky odběru biologického materiálu pro provádění biologických expozičních testů a náležitosti hlášení prací s azbestem a biologickými činiteli.

Wasel, J., Boll, M., Schulze, M., Mueller, D., Bundschuh M., Groneberg, D. A., Gerber, A. (2015). Brand Cigarillos: Low Price but High Particulate Matter Levels - Is Their Favorable Taxation in the European Union Justified? *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12: 9141 - 9153

Whitby, K. T. (1978). The physical characteristics of sulfate aerosols. *Atmospheric Environment* 12: 135–159.

Elektronické zdroje:

Doly Nástup Tušimice, In: *Severočeské doly a. s.* [online]. [cit. 2017-13-02]. Dostupné z: www.sdas.cz/aktivity/hornicka-cinnost/doly-nastup-tusimice

Doly Bílina, In: *Severočeské doly a. s.* [online]. [cit. 2017-13-02]. Dostupné z: www.sdas.cz/aktivity/hornicka-cinnost/doly-bilina

Hollerová, J. Prašnost na pracovišti, In: *Státní zdravotní ústav* [online]. 14. listopad 2007 [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/prasnost-na-pracovisti-1

Integrovaná prevence, In: *Severočeské doly a. s.* [online]. [cit. 2017-02-04]. Dostupné z: www.sdas.cz/aktivity/zivotni-prostredi/integrovana-prevence

Konvička, V. Stroje pro povrchové dobývání uhlí, In: *Nejen hornictví.info* [online]. [cit. 2017-13-02]. Dostupné z: www.hornictvi.info/prirucka/razba/uhli

Odběrová hlavice IOM, In: *Chromservis* [online]. [cit. 2017-19-02]. Dostupné z: www.chromservis.eu/kat/39-odberove-hlavice-pro-prasnost?lang=CZ

Sioutas Personal Cascade Impaktor, In: *SKC* [online]. [cit. 2017-19-02]. Dostupné z: www.skcinc.com/catalog/index.php?cPath

ZPDH 6300, In: *PRODECO* [online]. [cit. 2017-13-02]. Dostupné z: www.prodeco.cz/cz/produkty-a-sluzby/zakladace/zpdh-6300

Seznam příloh

Příloha 1 Kolesové rýpadlo Schrs 1320 na druhém skrývkovém řezu

Příloha 2 Zakládací vůz ZPDH 6300 na třetím skrývkovém řezu

Příloha 3 Kolesové rýpadlo K 800/N2 v uhelném lomu

Příloha 4 Umístění DustTraku DRX na venkovním ochoze zakládacího vozu ZPDH 6300

Příloha 5 Pohled na kabinu řidiče kolesového rýpadla Schrs 1320

Příloha 6 Umístění DustTraku DRX a teploměru-vlhkoměru AirFlow v kabině řidiče K 800/N2



Příloha 1 Kolesové rýpadlo Schrs 1320 na druhém skryvkovém řezu



Příloha 2 Zakládací vůz ZPDH 6300 na třetím skryvkovém řezu



Příloha 3 Kolesové rýpadlo K 800/N2 v uhelném lomu



Příloha 4 Umístění DustTraku DRX na venkovním ochoze základacího vozu ZPDH 6300



Příloha 5 Pohled na kabinu řidiče kolesového rýpadla Schrs 1320



Příloha 6 Umístění DustTraku DRX a teploměru-vlhkoměru AirFlow v kabině řidiče K 800/N2